

Aus dem Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial und Umweltmedizin
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Dennis Nowak

**Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre
mit einem O₂ on Demand System**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig- Maximilians- Universität München

vorgelegt von
Raluca Petru
geboren in Temeswar

2013

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. D. Nowak

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Dr. Angela Schuh
Priv. Doz. Dr. Matthias Kappler

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Prof. Dr. med. P. Angerer

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 28.02.2013

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Hintergrund	5
Fragestellung	11
Methode.....	12
Kollektiv.....	12
Exposition	14
Datenerhebungen.....	14
Informationen zum individuellen gesundheitlichen Zustand.....	14
Sauerstoffsättigung	15
Puls, Blutdruck und Herzfrequenz	16
Allgemeinbefinden, Atemnot- und Anstrengungsempfinden, Schwere des Belastungstests, muskuläre Erschöpfung	17
Visumotorische Untersuchung.....	19
Untersuchungsdesign	19
Ablauf.....	20
Körperliche Belastung	24
Sauerstoffzufuhr.....	25
Statistik	26
Ergebnisse	27
Kollektiv.....	27
Sauerstoffsättigung	30
Herzfrequenz	33
Blutdruck	36
Beschwerden im Sinne der akuten Höhenkrankheit	41
Anstrengungsempfinden, Erschöpfung, Tragekomfort der Geräte	44
Herzrhythmusstörungen im Langzeit-EKG.....	46
Visumotorische Untersuchung.....	49

Lerneffekte	50
Diskussion	53
Hauptbefunde	53
Diskussion methodischer Fragen.....	55
Diskussion der inhaltlichen Bedeutung	58
Schlussfolgerung	62
Zusammenfassung	63
Literatur	66
Anhang	70
Finanzielle Unterstützung	70
Hinweis	70
Danksagung.....	70
Lebenslauf.....	72
Anhang 1	73
Anhang 2.....	73

Hintergrund

Im letzten Jahrzehnt wird in Deutschland, den europäischen Nachbarländern und den USA zunehmend eine neue Brandschutztechnologie angewandt. Diese beruht auf der permanenten Reduktion des Sauerstoffgehaltes und Erhöhung des Stickstoffgehaltes in der Luft der zu schützenden Bereiche (sauerstoffreduzierte Atmosphäre). In diesen speziellen Räumen wird je nach Bedarf bzw. Entflammbarkeit des darin gelagerten Gutes der Sauerstoffanteil von 21% auf 17% - 13% reduziert. Dies entspricht dem Sauerstoffpartialdruck in etwa 2700 m bis 3850 m über dem Meeresspiegel. Durch die Verminderung des Sauerstoffanteils in der Luft wird die Entstehung eines Brandes verhindert, daher werden derartige Anlagen auch Brandvermeidungsanlagen genannt. Derartige Räume werden häufig für Rechnerzentren, Lager mit sehr wertvollen oder mit leicht entzündlichen Stoffen, Museen, Archive etc. eingebaut und betrieben. Diese Räume sind keine Dauerarbeitsplätze, müssen aber zeitweise sowohl von den Mitarbeitern der Betreiberfirmen als auch von Beschäftigten von Fremdfirmen zur Ausübung verschiedener Tätigkeiten betreten werden; die Aufenthaltsdauer und -häufigkeit variiert mit der Art der Tätigkeit. Zum Teil werden die Anlagen nur zu Kontrollzwecken betreten, z. T. muss körperliche Arbeit unterschiedlichen Schweregrades verrichtet werden.

Nach Einführung dieser neuen Technologie um das Jahr 2000 wurden bereits nach 10 Jahren gemäß den Angaben der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung zwischen 500 und 1000 Anlagen in Europa und den USA betrieben und bis zu 10.000 Beschäftigte seien gegenüber sauerstoffreduzierter Atmosphäre exponiert, die Sauerstoffkonzentration wird dabei auf Werte zwischen 17 und 13 Vol% gesenkt. Durch die rapide Verbreitung dieser Anlagen wird die Frage, welche gesundheitlichen

Konsequenzen für exponierte Beschäftigte entstehen und welche arbeitsmedizinischen, sicherheitstechnischen und gesetzlichen Maßnahmen getroffen werden müssen, zunehmend relevant.

Systematisch ausgewertete Erfahrungen hinsichtlich des gesundheitlichen Risikos bei Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre in Brandvermeidungsanlagen gibt es nicht. Wissenschaftliche Daten aus Untersuchungen sowie Übersichtsarbeiten zur Wirkung normobarer - d.h. vermindertem Sauerstoff-Stickstoff-Quotienten bei normalem Luftdruck, auch als sauerstoffreduzierte Atmosphäre oder normobare Hypoxie bezeichnet- sowie hypobarer Hypoxie - d.h. vermindertem Sauerstoffpartialdruck bei vermindertem Luftdruck, wie z.B. bei einem Aufenthalt in den Bergen oder einem Langstreckenflug-, liegen vor (Larson, Roach et al. 1982; Dean, Yip et al. 1990; Maggiorini, Buhler et al. 1990; Honigman, Theis et al. 1993; Hackett und Roach 1995; Wu, Li et al. 1998; Hackett und Roach 2001; Angerer und Nowak 2003; Maggiorini 2003; Maggiorini und Leon-Velarde 2003; Angerer, Petru et al. 2009)

Nach den vorliegenden wissenschaftlichen Daten führen der Aufenthalt und die Tätigkeit in hypobarer Hypoxie zu physiologischen Veränderungen, beginnend mit dem Abfall des Sauerstoffpartialdrucks im Blut, einer Intensivierung der Atmung und einem Anstieg der Herzfrequenz (Hackett und Roach 1995; Hultgren 1997; Bärtsch und Gibbs 2007). Die Auswirkungen unter hypobarer Hypoxie sind den physiologischen Auswirkungen unter hypobarer Hypoxie bei äquivalenten Sauerstoffpartialdrücken vergleichbar, wahrscheinlich aber unter normobarer Hypoxie geringer ausgeprägt (Angerer und Nowak 2003; Savourey, Launay et al. 2003; Angerer 2007).

Die kardiopulmonalen Effekte sind bei körperlicher Anstrengung am stärksten ausgeprägt. Bei gesunden Personen nimmt das Produkt der Herzfrequenz und des systolischen Blutdrucks (rate pressure product)

während physischer Tätigkeit in 3700 m Höhe um mehr als das doppelte im Vergleich zu den Bedingungen auf Meereshöhe zu (Nishihara, Shimada et al. 1998). Studien zeigten, dass bei Personen mit Herzerkrankungen die Exposition gegenüber Hypoxie, v.a. bei gleichzeitiger körperlichen Anstrengung, zur unvorhersehbaren Auslösung von akutem Koronarsyndrom, Dekompensation einer vorbestehenden Herzinsuffizienz oder plötzlichem Tod kommen kann (Morgan, Alexander et al. 1990; Agostoni, Cattadori et al. 2000; Bärtsch und Gibbs 2007; Burtscher und Ponchia 2010; Higgins, Tuttle et al. 2010)

Unter der Voraussetzung, dass Personen mit schweren kardialen und pulmonalen Vorerkrankungen durch eine Vorsorgeuntersuchung erkannt werden und keinen Zugang zu den sauerstoffreduzierten Räumen haben, scheint nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand weder eine Überhäufigkeit von Beschwerden noch von Erkrankungen bei beruflichen Aufenthalt in normobarer Hypoxie aufzutreten (Angerer 2007; Angerer, Petru et al. 2009).

Ein Komplex aus Beschwerden, der auch bei ansonsten gesunden Personen in hypobarer Hypoxie auftreten kann, wird als akute Höhenkrankheit bezeichnet. Darunter wird eine Kombination der Symptome Kopfschmerz, Appetitlosigkeit / Übelkeit, Mattigkeit / Schwäche, Schwindel und (bei Aufenthalt über Nacht) Schlafstörungen verstanden. Das Risiko an akuter Höhenkrankheit zu erkranken wird durch körperliche Anstrengung und die ungewohnten Umgebungsbedingungen (klimatische Verhältnisse) erhöht (Burtscher 2010). Das Vollbild einer akuten Höhenkrankheit, die bei Aufenthalt in hypobarer Hypoxie typischerweise 6 – 24 Stunden nach Erreichen großer Höhen auftritt und mit ansteigender Höhe sehr häufig ist (Hultgren und Marticorena 1978; Hackett und Roach 1995; Burtscher 2010), ist bei Arbeit in brandgeschützten Räumen aufgrund der meistens zeitlich

auf maximal 2 Stunden limitierten Aufenthalte und der Möglichkeit innerhalb kurzer Zeit einen Bereich mit normobarer atmosphärischen Luft zu erreichen, nicht zu erwarten (Angerer und Nowak 2003; Angerer, Petru et al. 2009).

Nach übereinstimmender Auffassung in Deutschland dürfen Räume mit reduzierter Sauerstoffkonzentration nur unter bestimmten Voraussetzungen technischer, organisatorischer und arbeitsmedizinischer Art betreten werden. Strittig ist, bis zu welcher Konzentration und für welche Tätigkeiten gesunde Personen die Räume betreten dürfen, ohne ein Umgebungsluft unabhängiges Atemgerät zu tragen. Der Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik in Deutschland (LASI) hat eine Handlungsanleitung (LASI 2005) erstellt, nach der die Aufsichtsbehörden möglichst einheitlich das Betreten dieser Anlagen regeln sollen. Daran angelehnt fordern die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung sowie manche Unfallversicherungsträger das Tragen von Umgebungsluft unabhängigen Sauerstoffgeräten, wenn die Sauerstoffkonzentration unter 15 Vol% abgesenkt ist, die festgelegte Mindestsauerstoffkonzentration (13 Vol%) jedoch nicht unterschritten wird. Oberhalb von 15 Vol% ist nach arbeitsmedizinischer Untersuchung das Betreten ohne Atemschutzgerät möglich.

Bei manchen körperlich fordernden Arbeiten, insbesondere im Hochregallager, ist die Verwendung von gewöhnlichen umgebungsluftunabhängigen Atemschutzgeräten aufgrund der Enge und der zusätzlichen Absturzsicherung nicht oder nur schwerlich möglich. Atemschutzgeräte sind z. T. schwer und klobig, folglich wird das – in Abhängigkeit von der zuständigen Berufsgenossenschaft – geforderte Tragen von Atemschutzgeräten aus Gründen der empfundenen Unnötigkeit und der o.g. Erschwerung der Arbeit im Alltag nicht praktiziert.

Auf der Suche nach einer praktikablen und spürbar die Arbeit erleichternden Alternative konnte man von den Erfahrungen im Bergsport und der medizinischen Versorgung von Lungenerkrankten profitieren. Hier gab es bereits Geräte, die über eine Nasenbrille zum Zeitpunkt der Einatmung eine kleine Menge (Bolus) von reinem Sauerstoff in den Bereich der Nase abgeben und somit die Sauerstoffkonzentration im Atembereich merklich anheben. Die Wirksamkeit (im Sinne einer effizienten Sauerstoffverfügbarkeit über die Zeit) dieser so genannten “On-Demand” Geräte nähert sich an das 7-fache im Vergleich zu den klassischen Geräten mit kontinuierlichen Flow. Es besteht jedoch Unsicherheit, ob die Bedarfslieferung insbesondere bei körperlicher Anstrengung ausreicht (Tiep, Barnett et al. 2002; Harber, Santiago et al. 2010; Harber, Yun et al. 2011). Ob derartige Sauerstoffgeräte die Sauerstoffsättigung im Blut soweit anheben können, dass in der Folge während körperlicher Beanspruchung der Bedarf aufgrund des verminderten Sauerstoffgehaltes der Umgebungsluft im Wesentlichen ausgeglichen wird und die Verhältnisse der normalen Luft erreicht werden, wurde bereits in einer Pilotstudie untersucht (Angerer, Petru et al. 2008). Hierbei wurde geprüft, ob das getestete Sauerstoffsystem in der Lage ist, durch Anheben der Sauerstoffsättigung während leichter körperlicher Belastung die körperliche Beanspruchung in Form von Herzfrequenz- und Blutdruckanstieg und Befindensbeeinträchtigung signifikant zu reduzieren. Im Rahmen der Pilotstudie führten 8 gesunde Probanden in einem Raum mit 13 Vol% O₂ eine mit 1,4 W/kg Körpergewicht definierte körperliche Belastung durch, einmal mit und einmal ohne ein von der Einatmung getriggertes On-Demand- Gerät, das Sauerstoff (100%) bis zu 1 l/min über eine Nasenbrille abgab. Dies war die seinerzeit mögliche Maximalleistung des zu Verfügung stehenden Systems. Die Zugabe von Sauerstoff normalisierte zwar die Sauerstoffsättigung in körperlicher Ruhe;

während Belastung hatte sie allerdings nur geringfügige abschwächende Effekte auf den Abfall der Sauerstoffsättigung und die kardiozirkulatorische Beanspruchung. Insbesondere reichte sie nicht aus, die subjektive körperliche Anstrengung zu beeinflussen.

Um bei einer körperlichen Belastung in einem Raum mit 13 Vol% O₂ eine Angleichung an die Normalluft-Verhältnisse der angebotenen Sauerstoffmenge zu gewährleisten, sind theoretisch aufgrund physiologischer Überlegungen die Zugabe von 2,4-3,2 L pro Minute reinem Sauerstoff durch entsprechende Sauerstoff-On-Demand Systeme nötig.

Durch die Entwicklung eines neuen On-Demand-Systems, das primär für den Flugsport entwickelt wurde, laut Aussage der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt auch von Beschäftigten in schweizerischen sauerstoffreduzierten Räumen bereits genutzt wird, und die o.g. Anforderungen erfüllt, stellte sich die Frage, ob dieses neue System auch praktisch in der Lage ist, die Sauerstoffsättigung unter realistischen Arbeitsbedingungen im Normalbereich zu halten und die kardiozirkulatorische ebenso wie die subjektive Beanspruchung zu reduzieren. Die hier im Folgenden dargestellte experimentelle Untersuchung an gesunden freiwilligen Versuchspersonen vergleicht daher intraindividuell zwei Untersuchungsbedingungen: Aufenthalt und körperliche Tätigkeit in einem Raum mit sauerstoffreduzierter Atmosphäre, 13,2 Vol% auf 500 m Höhe (Sauerstoffpartialdruck entsprechend etwa 4300 Höhenmetern) mit und ohne Unterstützung durch Sauerstoffgabe mittels des On-Demand-Systems EDS-O2D1 der Fa. Mountain High (Redmond, USA), das durch geringe Größe und leichtes Gewicht komfortabel sein sollte und etwa bis zu 3,5 l Sauerstoff pro Minute liefert.

Fragestellung

Die Fragen, die im Rahmen dieser Untersuchung beantwortet werden sollten, waren die folgenden:

- 1) Sind die Sauerstoffsättigung (als Maß der inneren Belastung), die Beanspruchungsindikatoren Herzfrequenz und Blutdruck (unter Ruhe, Belastung und Erholung), sowie die subjektiv empfundene Beanspruchung bei Arbeiten in einer Atmosphäre mit 13,2 Vol% Sauerstoff mit einem Sauerstoff-On-Demand-System günstiger als ohne Atemgerät?
- 2) Lässt sich ggf. mit einem Sauerstoff-On-Demand-System die Sauerstoffsättigung unter Ruhe sowie unter Belastungsbedingungen normalisieren?
- 3) Ist die Befindlichkeit während der Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre mit Sauerstoffzufuhr - trotz zusätzlicher Belastung - mindestens gleich gut wie ohne Sauerstoffzufuhr?
- 4) Wie werden psychomotorische Fähigkeiten (Visumotorik) durch das Tragen des o.g. Systems beeinflusst?
- 5) Wie wird der Tragekomfort dieser Systeme von den Personen bewertet?

Um eventuelle Zeiteffekte zu eliminieren, wurde die Studie in einem cross-over Design geplant. Als zusätzliche Information wurde die Frage untersucht, ob sich Änderungen allein aus der zeitlichen Reihenfolge ergeben:

- 6) Gibt es einen Unterschied in den Messwerten zwischen dem ersten und dem zweiten Durchlauf des Tests (Zeiteffekt)?

Methode

Kollektiv

Das zu untersuchende Kollektiv wurde aus einer größeren Probandengruppe, von Personen, die bereits an einer vorangehenden deutschlandweiten Kohortenstudie zu „Gesundheitlichen Auswirkungen von Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre (Hypoxie)“ (Projekt-Nr. FF-FP0224, gefördert durch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung) teilgenommen hatten, rekrutiert. Hierbei handelte es sich um Probanden, die sich beruflich in sauerstoffreduzierten Räumen aufhalten und darin verschiedene Tätigkeiten ausübten bzw. dieses planten. Aus organisatorischen Gründen wurden zuerst Mitarbeiter der Firma, in deren Anlage die aktuelle Untersuchung durchgeführt wurde, anschließend die Probanden aus der bereits erfolgten Pilotstudie (Angerer, Petru et al. 2008) und Kohortenstudienprobanden aus München informiert. Bei Erreichen der mittels vorher erfolgter Poweranalyse ermittelten erforderlichen Probandenzahl von 30 Probanden wurde die Rekrutierung gestoppt.

An der Untersuchung nahmen 30 Personen teil (4 Probandinnen und 26 Probanden, durchschnittliches Alter (MW \pm Standardabweichung) (Min. – Max.) $36,57 \pm 10,47$ (23 – 62) Jahre. 56,7 % der Probanden hatten sich bereits berufsbedingt in Räumen mit sauerstoffreduzierter Atmosphäre aufgehalten und darin auch verschiedene Arbeiten (z.B. Wartungen, Reparaturen, Kontrollen) durchgeführt. Alle Personen fühlten sich an ihrem jeweiligen Untersuchungstag fit und leistungsfähig.

Einschlusskriterium in die Studie war das erfolgreiche Durchlaufen einer medizinischen Untersuchung, die mindestens nach den Anforderungen der „Vorläufigen Richtlinie für eine spezielle arbeitsmedizinische

Vorsorgeuntersuchung bei Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre zum Zweck der Brandvermeidung“ (D. Nowak und P. Angerer, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial und Umweltmedizin der LMU München, s. Anhang) (Angerer 2007) keine Bedenken für Aufenthalt und Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre für die Probanden ergab. Im Rahmen dieser Vorsorgeuntersuchung wird neben einer allgemeinen Anamnese gezielt nach Vorerkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, pneumologischen und hämatologischen Erkrankungen gefragt. Des Weiteren wird eine körperliche Untersuchung, ein Ruhe- EKG und Blutbild zur Bestimmung Hämoglobinkonzentration gefordert. 9 Probanden hatten darüber hinaus vor kurzem eine Untersuchung nach dem berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 26.2 (Arbeiten mit Atemschutz) ohne ärztliche Bedenken durchlaufen. Im Rahmen der medizinischen Untersuchung wurden noch Informationen zu Vorerkrankungen und Beschwerden, Medikamenteneinnahme, sowie insbesondere zu Vorerfahrungen mit vermindertem Sauerstoffpartialdruck (Höhe oder Brandvermeidungsanlagen) und damit verbundenem Auftreten von Beschwerden im Sinne einer akuten Höhenkrankheit (AHK) erhoben. In die Untersuchung wurden nur Probanden aufgenommen, die für Tätigkeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre aus betriebsärztlicher Sicht als geeignet befunden wurden. Kein rekrutierter Proband wurde von der Studie ausgeschlossen.

Der Studie wurde von der Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität München die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit zuerkannt. Alle Probanden gaben zur Teilnahme an der Studie Ihre Einwilligung in mündlicher und schriftlicher Form.

Exposition

Die Untersuchung wurde in einem Serverraum eines Münchener Verlages in den Monaten Januar und Februar 2009 durchgeführt. Durch Erhöhung des Stickstoffgehaltes in dem Raum wurde eine Verminderung des Sauerstoffgehaltes in der Raumluft erzielt. Während der gesamten Untersuchung wurde die CO₂-Konzentration im Raum kontinuierlich gemessen; die maximale CO₂-Konzentration während der Testdurchgänge betrug 2738 ppm. Bei einem aktuellen Arbeitsplatzgrenzwert von 5000 ppm kann man sagen, dass es im Versuchsraum unter den unten beschriebenen Versuchsbedingungen zu keiner wesentlichen Anreicherung von CO₂ kam. Über den gesamten Zeitraum des Versuchs wurde der Sauerstoffgehalt der Luft im Versuchsraum auf durchschnittlich (MW \pm SD) 13,25 \pm 0,04 Vol % (Min. 13,20- Max. 13,30) gehalten. Dies entspricht vom Sauerstoffpartialdruck her der Situation in ca. 3800 Höhenmetern zzgl. 500 Höhenmeter der Lage von München.

Datenerhebungen

Informationen zum individuellen gesundheitlichen Zustand

Zu Beginn der Untersuchung wurden bei allen Probanden anhand von Fragebögen Informationen zu Alter, Größe, Gewicht, Rauchverhalten, Fitnesszustand, Art und Häufigkeit sportlicher Aktivitäten, Erkrankungen und evtl. Medikamenteneinnahme, Auftreten von Symptomen einer akuten Höhenkrankheit (AHK) bei früheren Aufenthalten in den Bergen oder bei Flügen, sowie dem Vorkommen von Beschwerden im Sinne einer akuten Höhenkrankheit bei früheren Aufenthalten in sauerstoffreduzierten Räumen gewonnen.

Die Symptome der akuten Höhenkrankheit wurden mit Hilfe des Lake Louise Scores (LLS) quantifiziert (Roach, Bärtsch et al. 1993). Dieser

Fragebogen wurde zwecks systematischer und international einheitlicher Bewertung der akuten Höhenkrankheit nach einer Konsensus Konferenz am Lake Louise im Jahr 1993 festgelegt. Bei diesem Fragebogen handelt es sich um eine Selbsteinschätzung und die 5 wichtigsten Symptome einer AHK werden abfragt: Kopfschmerzen, gastrointestinale Symptome (Appetitlosigkeit, Übelkeit oder Erbrechen), ungewohnte Müdigkeit oder Müdigkeit, Schwindel und - bei Schlaf in sauerstoffreduzierter Atmosphäre - zusätzlich Schlafstörungen. Um den Schweregrad einer AHK zu ermitteln, wird jedes Symptom folgendermaßen bewertet (Punktzahl in Klammern): keine Beschwerden (0), leicht (1), mäßig (2), schwer (3). Laut Definition der AHK muss mindestens Kopfschmerz als Leitsymptom sowie ein weiteres Symptom vorhanden und eine Gesamtpunktzahl von mindestens 3 erreicht sein.

Dieser Fragebogen wurde nicht nur im Rahmen der Anamnese eingesetzt, sondern auch zur Abfrage des aktuellen gesundheitlichen Zustandes vor dem Testbeginn, in der Testpause und jeweils zum Ende der beiden Aufenthalte in sauerstoffreduzierter Atmosphäre. Der verwendete Fragebogen wurde den Bedingungen des Experiments angepasst, das Symptom Schlafstörung entfiel hierbei gänzlich; das Kriterium für eine AKH (3 Punkte oder mehr auf der LLS Skala) wurde dabei übernommen.

Die Konzentration des Hämoglobins, dem als Sauerstoffträger besondere Bedeutung zukommt, wurde aus Kapillarblut aus der Fingerbeere bei jedem Probanden vor Beginn des Versuchs mit dem HemoCue (HemoCue Hb 201+, Grossostheim) ermittelt.

Sauerstoffsättigung

Die Sättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff ist ein Maß für den in das Blut aufgenommenen und für Stoffwechselprozesse zur Verfügung stehenden Sauerstoff. Die Sauerstoffsättigung wurde als Maß der inneren

Belastung (im Gegensatz zu Herzfrequenz und Blutdruck als Maß der Beanspruchung) herangezogen.

Die Sauerstoffsättigung (sO_2) gibt den Anteil des Hämoglobins in Prozent an, der mit Sauerstoff gesättigt ist. Sie ist abhängig vom Blutsauerstoffwert sowie vom pH-Wert des Blutes.

Sauerstoff ist zu einem geringen Teil auch im Blutserum gelöst. Der gelöste Sauerstoff übt dabei einen messbaren Druck aus, dem Sauerstoffpartialdruck (pO_2). Die Sauerstoffsättigung und der Sauerstoffpartialdruck stehen in direktem Zusammenhang, niedrige Sauerstoffpartialdruckwerte gehen immer mit einer schlechteren Sauerstoffsättigung einher. Zur Messung des Sauerstoffpartialdruckes ist jedoch eine arterielle Blutentnahme, alternativ eine Blutentnahme aus kapillarisiertem Ohrläppchen erforderlich, was für den hier beschriebenen Versuchsablauf unpraktikabel war.

Die Sauerstoffsättigung wurde in den unten genannten Intervallen durch einen Clip an der Fingerspitze des Zeigefingers bei jedem Probanden mittels Ohmeda Tuffsat Geräten (Fa. GE Healthcare, Helsinki) mehrfach bestimmt.

Bei gesunden Personen geht man von einem Normalbereich von 92-98% Sauerstoffsättigung aus und unter körperlicher Belastung sinkt die Sauerstoffsättigung bei Atmung normaler Luft nicht wesentlich ab (Löllgen 2000).

Puls, Blutdruck und Herzfrequenz

Peripherer Puls, Blutdruck und Herzfrequenz sind Maße für die kardiozirkulatorische Beanspruchung, d.h. die individuelle Reaktion von Herz und Kreislauf auf die Belastung, die eine Kombination von körperlicher Betätigung, verminderter Sauerstoffsättigung, Tragen der Sauerstoffflaschen, emotionaler Belastung durch den Versuch etc. darstellt. Puls und Blutdruck wurden mehrmals und zu den gleichen Zeitpunkten wie

die Sauerstoffsättigung gemessen, der Puls mit den Ohmeda Tuffsat Geräten (Fa. GE Healthcare, Helsinki), der Blutdruck mittels halbautomatischer Blutdruckmessgeräte (Modell Boso- medicus prestige; Jungingen). Falls eine Messung mit den halbautomatischen Blutdruckmessgeräten nicht erfolgreich durchgeführt werden konnte (z.B. hoher Puls), wurde mittels manueller Blutdruckmessgeräte sofort nachgemessen. Während der gesamten Untersuchungszeit trugen die Probanden ein Langzeit-EKG (AR 12, Fa. Medilog, Huntleigh Healthcare, Cardiff), das kontinuierlich die Herzstromkurve aufzeichnete. Diese wurde mit Hilfe der automatisierten Medilog Darwin Software und unter visueller Kontrolle ausgewertet. Dabei wurden alle Arten von Herzrhythmusstörungen erfasst und klassifiziert. Als zusätzliches Beanspruchungskriterium neben der Herzfrequenz wurde der Abfall der Herzfrequenz nach körperlicher Belastung registriert.

Allgemeinbefinden, Atemnot- und Anstrengungsempfinden, Schwere des Belastungstests, muskuläre Erschöpfung

Während der Aufenthalte in normaler Luft (zu Beginn der Studie und in der 40-minütigen Pause) wurde ein Fragebogen zu Allgemeinbefinden und körperlicher Erschöpfung von den Probanden beantwortet. Der Fragebogen umfasste am Ende des Studienablaufes zusätzlich Fragen zu Tragekomfort des Systems und der globalen Beurteilung des Belastungstests mit und ohne Flasche. Während der 10-minütigen Ruhephase während des Belastungstests im Raum beantworteten die Probanden Fragen zu Allgemeinbefinden, muskulärer Müdigkeit, Beschwerlichkeit des Belastungstests, sowie zum Atemnot- und Anstrengungsempfinden gemäß den Borg-Skalen (s. Anhang). Die Antworten zu Allgemeinbefinden, körperlicher Erschöpfung und Beschwerlichkeit des Belastungstests wurden als visuelle Analogskalen gefasst, mit den Endpunkten (je nach Frage) „sehr schlecht“, „sehr müde“ entsprechend 0 Punkten und „sehr gut“, „gar nicht müde“ entsprechend 10

Punkten. Als Maß der Beanspruchung durch den Versuch wurde die Differenz des Zustandes nach dem Versuch im Vergleich zum Wert vor Versuch berechnet.

Der Tragekomfort der Geräte wurde auf einer 5-Stufen Likert-Skala mit Antwortmöglichkeiten von „sehr schlecht“ bis „sehr gut“ eingeschätzt; bei der globalen Beurteilung des Belastungstests sollten die Probanden die Situation nennen, in der ihnen der Stufentest leichter gefallen war: mit oder ohne Sauerstoffflasche.

Das Anstrengungs- und das Atemnotempfinden wurde mit den entsprechenden Borg-Skalen erfasst (Löllgen 2000; Löllgen 2004). Diese sind zuverlässige Indikatoren zur Einschätzung des Anstrengungs- und Atemnotempfindens während körperlicher Aktivität. Der Skalenwert jeder der beiden Borg-Skalen eignet sich zur Beurteilung der Ausbelastung bei Feldversuchen oder bei der Ergometrie. Anstrengungsempfinden und Ergometerleistung korrelieren eng. Beide Skalen sind 15-stufig, mit Punktwerten zwischen 6 und 20. In der Skala zum Anstrengungsempfinden entspricht der Wert von 7 einer Einschätzung von „sehr, sehr leicht“, jede zweite Stufe hat eine verbale Entsprechung, der Wert 19 wird mit „sehr, sehr anstrengend“ beschrieben.

Die Skala zum Atemnotempfinden bietet bei dem Wert 7 die Interpretation „sehr, sehr gering“ an, die weiteren Steigerungen erfolgen ebenfalls in 2er-Stufen bis zum Wert 19 entsprechend „sehr, sehr stark“; zusätzlich wird beim Wert 20 die Interpretation „zu stark, geht nicht mehr“ angeboten. Nur Werte von 17 oder mehr zeigen nach gängiger Interpretation eine Erschöpfung an. Werte von 18 und mehr werden eher von Hochleistungssportlern erreicht. Es bestehen enge Korrelationen der erhobenen Werte zu physiologischen Parametern über die Herzfrequenz hinaus, so zu Laktatwerten, Sauerstoffaufnahme oder Atemfrequenz während der Belastung (Löllgen 2004).

Visumotorische Untersuchung

In der Phase vor dem Betreten des sauerstoffreduzierten Raumes, nach den beiden Belastungstests im und in der Pause zwischen den Aufenthalten im Raum führten die Probanden einen visumotorischen Test (Pegboard) durch. Hierbei sollten die Probanden kleine metallische Pegs („Nägel“) aus einer Schale entnehmen und in einer mit entsprechenden Löchern versehenen quadratischen Form (Brett mit 5 x 5 Aussparungen für die Pegs) einstecken. Dabei wurden die Probanden instruiert, so zügig wie möglich zu arbeiten, nur die dominante Hand zu verwenden, jeweils einen Peg aus der Schale zu entnehmen und die Aussparung einzustecken. Das Einstecken der Pegs erfolgte immer in einer vorgegebenen Reihenfolge, die Schale mit den Pegs lag immer auf der Seite der nichtdominanten Hand. Der Test eignet sich zur Bestimmung der Hand-Augen-Koordination und der motorischen Geschwindigkeit. In der Durchführung des Tests werden kognitive Fähigkeiten gefordert, wie z.B. die sensorisch-motorische Integration sowie anspruchsvolle Informationsverarbeitungsprozesse. In der Forschungsliteratur wird dieser Test als sensitiv für Hypoxie bedingte Einflüsse auf das zentrale Nervensystem diskutiert (Virues-Ortega, Buela-Casal et al. 2004).

Untersuchungsdesign

Jeder Proband führte den Test zweimal auf identische Weise hintereinander durch, einmal mit und einmal ohne Sauerstoff-Gerät. Somit hatte die Hälfte der Probanden beim ersten Durchlauf eine O₂-Flasche und die andere Hälfte beim zweiten Durchlauf (cross-over Design bezüglich Hypoxie-Exposition mit und ohne Sauerstoffzufuhr). Somit konnte jede Person mit sich selbst verglichen werden. Die Tabellen im Ergebnisteil stellen den intraindividuellen Vergleich dar.

Ablauf

Der Studienablauf wird in der folgenden Abbildung dargestellt:

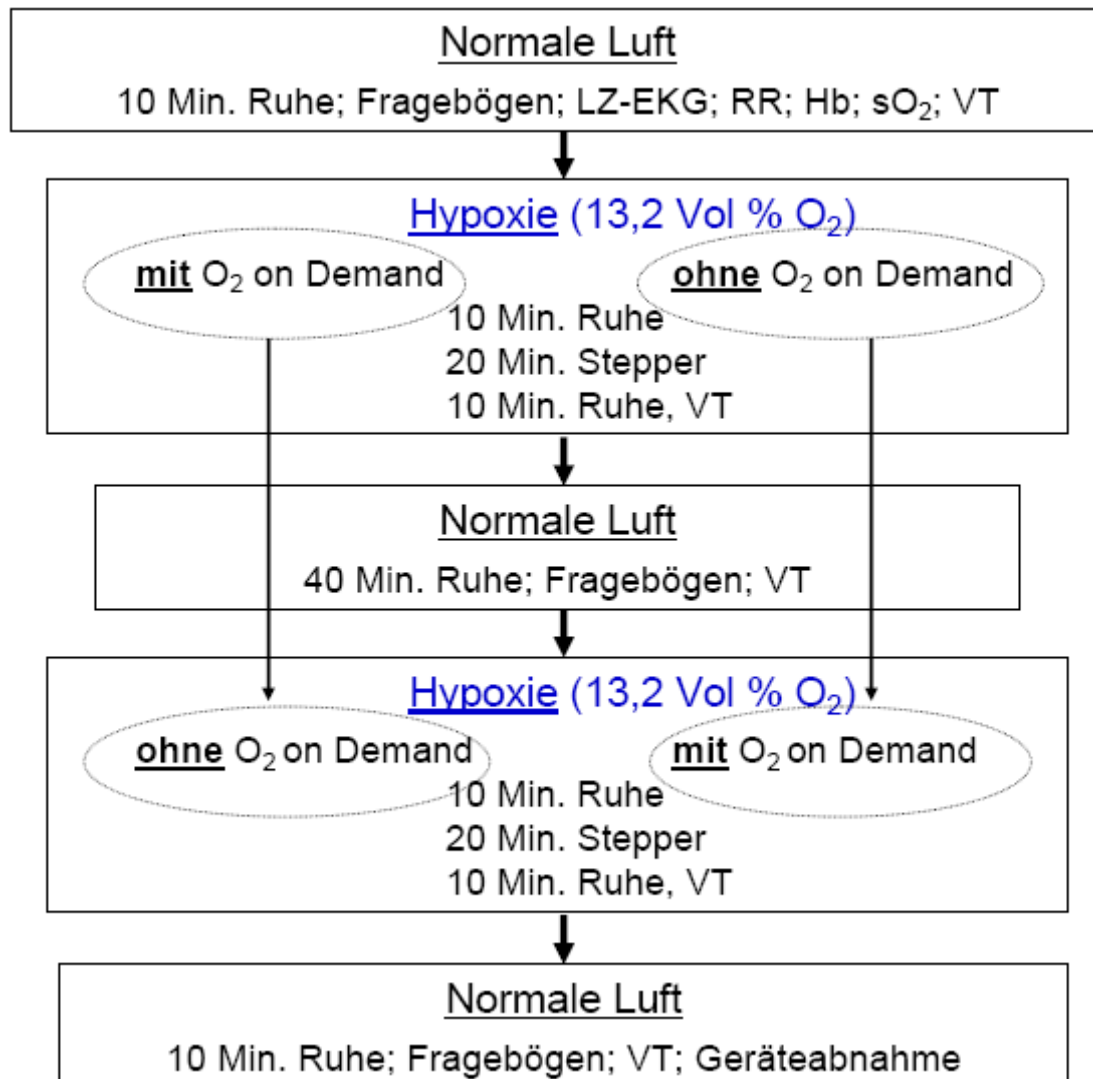


Abbildung 1: Studiendesign und Ablauf. LZ-EKG = Langzeit EKG; RR = Blutdruck ; Hb = Hämoglobin; sO₂ = Sauerstoffsättigung; VT = Visumotorischer Test

In jeder Probandengruppe waren zwei Probanden, einer mit Sauerstoffflasche und einer ohne Flasche. Wer beim ersten Durchgang das Sauerstoffgerät getragen hatte, betrat beim zweiten Mal ohne das Gerät den Raum, und umgekehrt. Die Phasen der Vorbereitung, der Ruhe zwischen den Testphasen und die Abnahme der Geräte fanden in einem Nebenraum des

Versuchsraums in normaler Luft statt. Jeder Proband erhielt für die Teilnahme an der Untersuchung ein Honorar in Höhe von 100 Euro.

Der zeitliche Ablauf der Studie und die Zeitpunkte der durchgeführten Messungen werden in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Zeitlicher Ablauf der Studie

Zeitablauf	Aufenthaltort	Tätigkeiten	Messung				
			HF	sO2	RR syst.	RR diast.	Peg-board
10´	Normale Luft	Ruhe; Ausfüllen der Fragebögen, Anlegen von Langzeit- EKG, Bestimmung des Hämoglobinwertes, Visumotorischer Test	X	X	X	X	X
5´	Sauerstoffreduzierte Atmosphäre	Ruhe	X	X	X	X	---
10´		Ruhe	X	X	X	X	---
5´		Stepper- Belastungstest	X	X	X	X	---
10´		Stepper- Belastungstest	X	X	X	X	---
15´		Stepper- Belastungstest	X	X	X	X	---
20´		Stepper- Belastungstest	X	X	X	X	---
5´		Ruhe; Ausfüllen der Fragebögen	X	X	X	X	---
10´		Visumotorischer Test, Ruhe	X	X	X	X	X
5´	Normale Luft (Testpause)	Ruhe	X	X	X	X	---
10´		Ruhe	X	X	X	X	---
20´		Ruhe	X	X	X	X	---
30´		Ruhe; Ausfüllen der Fragebögen	X	X	X	X	---
40´		Visumotorischer Test, Ruhe	X	X	X	X	X

Zeitablauf	Aufenthaltort	Tätigkeiten	Messung				
			HF	sO2	RR syst.	RR diast.	Peg-board
5´	Sauerstoffreduzierte Atmosphäre	Ruhe	X	X	X	X	---
10´		Ruhe	X	X	X	X	---
5´		Stepper- Belastungstest	X	X	X	X	---
10´		Stepper- Belastungstest	X	X	X	X	---
15´		Stepper- Belastungstest	X	X	X	X	---
20´		Stepper- Belastungstest	X	X	X	X	---
5´		Ruhe; Ausfüllen der Fragebögen	X	X	X	X	---
10´		Visumotorischer Test, Ruhe	X	X	X	X	X
5´	Normale Luft	Ruhe	X	X	X	X	---
10´		Ruhe; Abnehmen der Geräte; Beantworten der Fragen zu Tragekomfort	X	X	X	X	---

Körperliche Belastung

Die über 20 Minuten im Raum durchgeführte muskulär und zirkulatorisch belastende Tätigkeit erfolgte mit definierter Belastung. Es wurde ein Stepper mit einer Stufenhöhe von 24 cm verwendet. Die Probanden mussten die Stufe mit einer Frequenz von 25 Stufenaufstiegen pro Minute ersteigen. Der Takt wurde in vierfacher Frequenz mit einem Metronom vorgegeben, um den Bewegungsablauf zu unterstützen. Die körperliche Belastung entsprach 1,4 W/kg Körpergewicht (Formel von Pitteloud und Forster; $W = G \times H \times F \times 0,232$; W = Belastung in Watt, G = Körpergewicht in kg; H = Höhe der Stufe in Meter; F = Frequenz, mit der die Stufe pro Minute bestiegen wurde; 0,232 entsprach einem Korrekturfaktor) (Pitteloud und Forster 1963). Das mittlere Körpergewicht des untersuchten Kollektivs entsprach 79 kg, die daraus resultierende mittlere Leistung entsprach ca. 110,6 Watt. Zuzüglich des gesamten Sauerstoffzufuhrsystems von fast 4 kg ergeben sich ein mittleres Gewicht von 83 kg und eine mittlere Belastung von ca. 116 Watt.

Der gesamte Ablauf erfolgte unter ärztlicher Aufsicht. Kriterien für den Versuchsabbruch waren: Wunsch des Probanden, Anstieg des systolischen Blutdrucks unter körperlicher Belastung auf Werte > 260 mmHg, maximale Herzfrequenz > 220 minus Lebensalter, klinische Anzeichen einer akuten koronaren Problematik (z.B. Angina pectoris, Herzrhythmusstörungen, Abfall des Blutdrucks unter Belastung und andere Abbruchkriterien einer Ergometrie). Die Untersuchung wurde von allen Probanden komplett durchgeführt mit einer Ausnahme: Ein Proband hatte im zweiten Testdurchgang (zweiter Aufenthalt in sauerstoffreduzierter Atmosphäre, ohne Sauerstoffflasche) den Steppertest nach 15 Minuten wegen körperlicher Erschöpfung

abgebrochen, hielt die 10 Minuten Ruhezeit im Raum ein und verließ somit den Raum 5 Minuten früher als vorgesehen.

Sauerstoffzufuhr

Für die Sauerstoffzufuhr wurden Sauerstoffsyste m e vom Typ EDS-O2D1 mit getriggertem Demandsystem der Fa. Mountain High (Redmond, USA), mit einem Gesamtgewicht von 0,9 kg, verwendet. Es handelte sich um eine Flasche mit einem Fassungsvermögen von 2 Litern, die reinen Sauerstoff bei einem Druck von 200 bar enthielt. Über einen integrierten Sensor wurde die Sauerstoffmenge pro Atemzug automatisch gesteuert. Während der Aktivierung des Systems strömte der Sauerstoff über eine Nasenbrille; die Sauerstoffzufuhr erfolgte hierbei getriggert durch den negativen Druck und nur im ersten Teil der Inspiration. Die Gesamtmenge an Sauerstoff, die in beschriebener Weise auf die Perioden während der Inspiration pro Minute fraktioniert abgeben wurde, betrug je nach individueller Atemfrequenz bis zu 3,5 L/min. Sauerstoffflasche und Demandsystem waren in einem schmalen Rucksack untergebracht. Das Gesamtgewicht der vollen Sauerstoffflasche, mit Demandsystem und Rucksack betrug 3,75 kg. Die durch das Gesamtgewicht des verwendeten Systems verursachte zusätzliche körperliche Belastung wurde entsprechend der Formel von Pitteloud und Forster auf 5,22 Watt berechnet. Eine Sauerstoffflasche wurde von maximal 2 Probanden verwendet, um größere Schwankungen des Gewichts zwischen den Probanden zu vermeiden. Somit konnte eine konstante zusätzliche Belastung durch das Tragen des Systems für alle Probanden sichergestellt werden.

Statistik

Die gewonnenen Daten wurden doppelt in eine Datenbank eingegeben und auf Übereinstimmung sowie Plausibilität geprüft. Dateneingabe und Auswertung erfolgten mit dem Statistikprogramm SPSS Version 16. Die Daten wurden mit Hilfe der Tests nach Kolmogorov-Smirnov und Shapiro-Wilk auf Normalverteilung geprüft. Je nach Natur der Daten kam für den Vergleich der Messwerte unter den beiden Untersuchungsbedingungen (mit und ohne Sauerstoffflasche in sauerstoffreduzierter Atmosphäre, sowie Differenz vor versus nach Belastung) der t-Test für gepaarte Stichproben, der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben oder der χ^2 Test zum Einsatz. Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgesetzt. Das bedeutet, dass alle Unterschiede, deren Testwerte unter diesem Niveau ($p < 0,05$) liegen, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 5% als nicht zufällig angesehen werden können.

Ergebnisse

Kollektiv:

Das untersuchte Kollektiv wird in Tabelle 2a dargestellt.

Tabelle 2a: Untersuchungskollektiv; n = 30

Variable		Wert
Alter (MW \pm SD), Jahre		36,57 \pm 10,47
Gewicht (MW \pm SD), kg		79,09 \pm 11,24
Body Mass Index (MW \pm SD), kg/m ²		24,95 \pm 2,80
Hämoglobin (MW \pm SD), g/dl		15,71 \pm 1,44
Nichtraucher, n (%)		23 (76,7)
Ex-Raucher, packyears (MW \pm SD)		7,66 \pm 4,96
Raucher, packyears (MW \pm SD)		8,46 \pm 8,82
Selbst eingeschätzter Fitnesszustand	– sehr gut n (%)	2 (6,7)
	– gut n (%)	7 (23,3)
	– mittelmäßig n (%)	14 (46,7)
	– eher schlecht n (%)	7 (23,3)

(MW \pm SD) = Mittelwert und Standardabweichung; n (%) = Anzahl und prozentualer Anteil am Kollektiv

10 Probanden gaben regelmäßige Einnahme von Medikamenten an, 4 Probanden von diesen gaben an, regelmäßig Präparate für kardiovaskuläre Erkrankungen (z.B. arterielle Hypertonie, Herzrhythmusstörungen) einzunehmen. Eine kurze Beschreibung der Probanden, die Medikamenteneinnahme angaben, wird in der Tabelle 2b dargestellt.

Tabelle 2b: Kurze Beschreibung der Probanden, die Medikamenteneinnahme angegeben hatten.

Proband Nr.	Alters- klasse (Jahre)	Medikament	Erkrankungen	Bemerkungen
1	< 40	ß Blocker (Metoprolol)	Arterielle Hypertonie	unter Behandlung normale Blutdruck- und Harnsäurewerte
		Gichtmittel (Allopurinol)	Hyperurikämie	
2	> 40	Antiarrhythmikum (Flecainid)	Herzrhythmusstörungen	Reduktion der Arrhythmiehäufigkeit und subjektive Besserung
		Neuropathiepräparat (Lyrica)	Restless Legs Syndrom	subjektive Besserung
		Schilddrüsenhormon (Thyronajod)	Schilddrüsenunter- funktion	Normalisierung der Schilddrüsenhormonwerte
3	> 40	Gichtmittel (Allopurinol)	Hyperurikämie	unter Behandlung normale Harnsäurewerte
4	< 40	Kontrazeptivum *	keine	keine
5	> 40	Antirheumatika (Humira)	Rheumatoide Arthritis	unter Behandlung Beschwerdefreiheit
		Immunsuppressiva (Methotraxat)		
6	< 40	Gichtmittel (Allopurinol)	V.a. Hyperurikämie	unter Behandlung normale Harnsäurewerte
7	< 40	Corticoid *	Morbus Cushing	Besserung des Allgemeinbefindens und Reduktion der Cushing- Symptomatik
		Mineralocorticoid *	Z.n.	
		Vitamin D Derivat *	Nebennierenresektion	
		Calcium *		
8	> 40	Angiotensin-II- Rezeptor-Antagonist (Atacand)	Arterielle Hypertonie	unter Behandlung normale Blutdruckwerte
9	< 40	ACE-Hemmer (Ramipril)	Arterielle Hypertonie	unter Behandlung normale Blutdruckwerte

Proband Nr.	Alters- klasse (Jahre)	Medikament	Erkrankungen	Bemerkungen
10	> 40	Valproinsäure (Orfilril)	Epilepsie	unter Behandlung jahrelang anfallsfrei
		Digestiva aus Enzymen *	Z.n. Pankreatitis	unter Behandlung Beschwerdefreiheit

* = die genaue Substanz bzw. Präparatname konnte von den Probanden nicht angegeben werden.

Die restlichen 20 Probanden gaben keine relevanten chronischen Erkrankungen an.

Beschwerden im Sinne einer akuten Höhenkrankheit (AHK) bei früheren Aufenthalten in den Bergen oder Flügen wurden von einem Probanden angegeben, ein Proband gab an, noch nie Langstreckenflüge gemacht zu haben oder in den Bergen gewesen zu sein, die restlichen Probanden verneinten die Frage.

Von den 17 (56,7 %) Personen, die bereits früher Räume mit sauerstoffreduzierter Atmosphäre betreten hatten, gaben 3 (10 %) an, während des Aufenthaltes Beschwerden entsprechend einer akuten Höhenkrankheit, gehabt zu haben: Über Kopfschmerzen während früheren Aufenthalten in sauerstoffreduzierten Räumen berichtete nur eine Person, der Lake Louise Score betrug dabei 1; zwei Probanden gaben mäßige Mattigkeit / Schwäche während früheren Aufenthalten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre an.

Sauerstoffsättigung

Die während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre gemessene Sauerstoffsättigung im peripheren Blut unter den beiden Testbedingungen (mit und ohne Sauerstoffflasche) im intraindividuellen Vergleich wird in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Sauerstoffsättigung (Mittelwert \pm Standardabweichung = MW \pm SD) im peripheren Blut unter sauerstoffreduzierter Atmosphäre kombiniert mit körperlicher Belastung; mit und ohne Sauerstoffzufuhr. Der p-Wert bezieht sich auf den intraindividuellen Vergleich der beiden Bedingungen (Wilcoxon-Test).

Messzeitpunkt ab Start der jeweiligen Versuchsbedingung	<i>ohne</i> Sauerstoffgabe	<i>mit</i> Sauerstoffgabe	p-Wert
<i>Normale Atmosphäre, körperliche Ruhe</i>			
Minute 10	97,07 \pm 1,41	97,10 \pm 1,37	0,938
<i>Hypoxie, körperliche Ruhe</i>			
Minute 5	87,90 \pm 2,95	98,73 \pm 1,36	0,000
Minute 10	86,90 \pm 2,88	98,47 \pm 1,33	0,000
<i>Hypoxie, körperliche Belastung</i>			
Minute 5	78,60 \pm 3,65	94,37 \pm 2,95	0,000
Minute 10	78,07 \pm 3,67	94,20 \pm 2,50	0,000
Minute 15	78,50 \pm 3,56	93,93 \pm 2,38	0,000
Minute 20	79,10 \pm 3,55	93,70 \pm 2,51	0,000
Durchschnittlicher Wert während der Belastung	78,56 \pm 3,36	95,05 \pm 2,21	0,000
Minimaler Wert Während der Belastung	77,03 \pm 3,72	92,63 \pm 2,75	0,000
Maximaler Wert während der Belastung	80,00 \pm 3,26	95,37 \pm 2,22	0,000
<i>Hypoxie, körperliche Ruhe / Erholung</i>			
Minute 5	86,93 \pm 2,59	97,80 \pm 1,58	0,000
Minute 10	86,63 \pm 2,90	97,90 \pm 1,37	0,000
<i>Normale Atmosphäre, Testphasenende, körperliche Ruhe</i>			
Minute 10	95,47 \pm 1,33	96,43 \pm 1,30	0,001

In normaler Luft vor Testbeginn war die Sauerstoffsättigung mit und ohne Sauerstoffzufuhr vergleichbar ($p=0,938$).

Mit Sauerstoffzufuhr aus der Flasche war unter allen Versuchsbedingungen in Hypoxie (körperliche Ruhe, Belastung, Erholung) die Sauerstoffsättigung signifikant höher als ohne Sauerstoffzufuhr. In den Minuten nach Testende in normaler Atmosphäre und in körperlicher Ruhe war die Sauerstoffsättigung nach der Sauerstoffzufuhr noch geringfügig höher als ohne, auch noch kurz nachdem die Sauerstoffzufuhr unterbrochen wurde.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich mit Sauerstoffzufuhr die Sauerstoffsättigung über den gesamten Zeitraum, unter Hypoxie ohne und mit körperlicher Belastung, im normalen Bereich halten ließ. Während körperlicher Belastung sank die Sauerstoffsättigung leicht, blieb aber im unteren Normbereich.

Die Veränderung der Sauerstoffsättigung vor und während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre stellt Abbildung 2 dar.

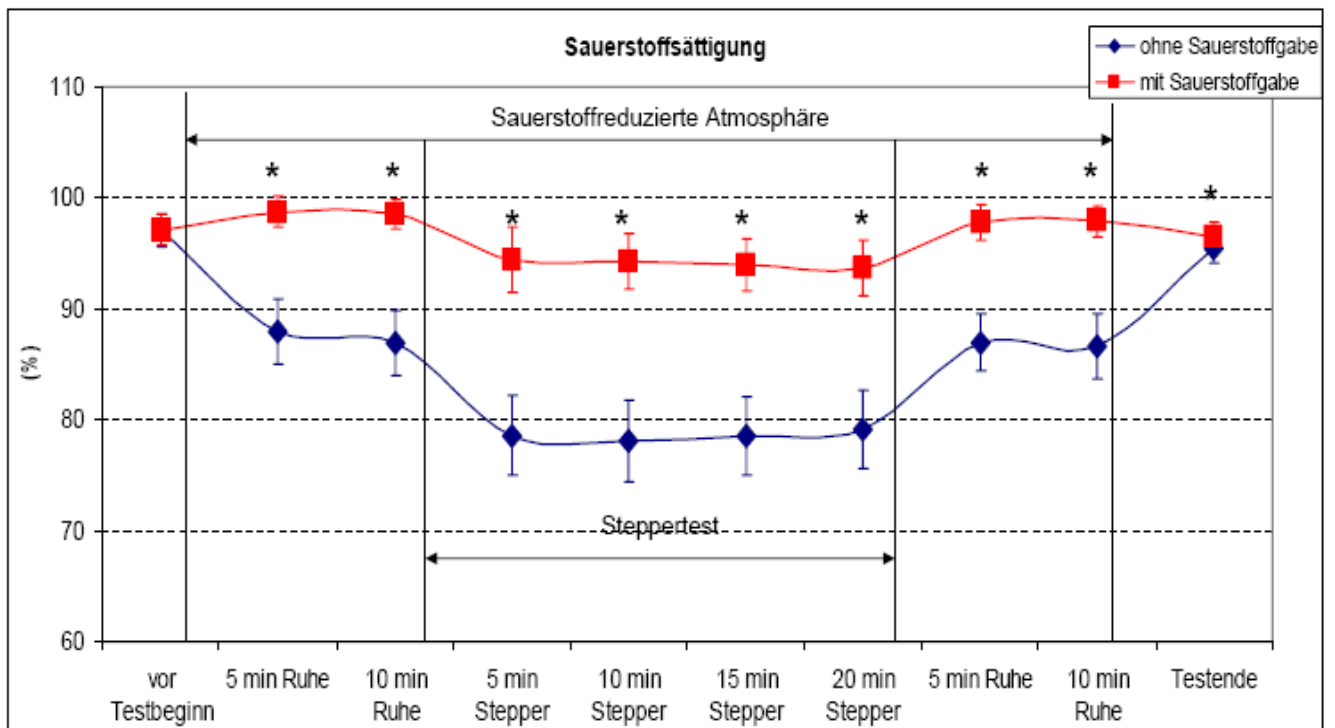


Abbildung 2: Veränderung der Sauerstoffsättigung vor, während und nach dem Aufenthalt in sauerstoffreduzierter Atmosphäre (MW \pm SD; * = $p \leq 0,001$)

Herzfrequenz

Die während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre gemessene Herzfrequenz unter den beiden Testbedingungen (mit und ohne Sauerstoffflasche) im intraindividuellen Vergleich wird in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Herzfrequenz (MW \pm SD) in Schlägen pro Minute unter sauerstoffreduzierter Atmosphäre kombiniert mit körperlicher Belastung; mit und ohne Sauerstoffzufuhr. Der p-Wert bezieht sich auf den intraindividuellen Vergleich der beiden Bedingungen (Wilcoxon-Test).

Messzeitpunkt ab Start der jeweiligen Versuchsbedingung	<i>ohne</i> Sauerstoffgabe	<i>mit</i> Sauerstoffgabe	p-Wert
<i>Normale Atmosphäre, körperliche Ruhe</i>			
Minute 10	81,23 \pm 15,79	82,23 \pm 16,53	0,478
<i>Hypoxie, körperliche Ruhe</i>			
Minute 5	87,90 \pm 16,92	79,13 \pm 14,43	0,001
Minute 10	89,27 \pm 18,58	80,37 \pm 14,95	0,030
<i>Hypoxie, körperliche Belastung</i>			
Minute 5	135,30 \pm 14,79	122,63 \pm 20,68	0,002
Minute 10	139,13 \pm 19,57	131,47 \pm 15,74	0,010
Minute 15	142,17 \pm 15,37	133,83 \pm 14,98	0,024
Minute 20	143,31 \pm 17,89	137,63 \pm 17,80	0,053
Durchschnittlicher Wert während der Belastung	140,19 \pm 12,88	131,39 \pm 14,58	0,001
Minimaler Wert während der Belastung	127,37 \pm 13,01	118,30 \pm 17,54	0,010
Maximaler Wert während der Belastung	153,73 \pm 16,15	142,07 \pm 16,17	0,000
<i>Hypoxie, körperliche Ruhe / Erholung</i>			
Minute 5	105,20 \pm 17,64	99,83 \pm 16,77	0,002
Minute 10	106,07 \pm 17,20	98,80 \pm 19,88	0,001
Abfall der Herzfrequenz in den 10 Min. nach Belastung	38,66 \pm 19,47	38,83 \pm 17,19	0,846
<i>Normale Atmosphäre, Testphasenende, körperliche Ruhe</i>			
Minute 10	89,90 \pm 16,47	90,03 \pm 16,82	0,581

In normaler Luft vor Testbeginn war die Herzfrequenz mit und ohne Sauerstoffzufuhr gleich. Mit Sauerstoffzufuhr aus der Flasche war unter den Versuchsbedingungen in Hypoxie (körperliche Ruhe, Belastung, Erholung) die Herzfrequenz statistisch signifikant niedriger als ohne Sauerstoffzufuhr. Während der Erholungsphase in den 10 Minuten Ruhe nach körperlicher Belastung in sauerstoffreduzierter Atmosphäre und unter Sauerstoffzufuhr nahm die Herzfrequenz nicht schneller ab als ohne Sauerstoffzufuhr ($p = 0,846$).

Nach Testende war kein Unterschied in der Herzfrequenz mehr erkennbar.

Um unabhängig von der Sauerstoffzufuhr eventuelle kumulative Effekte (Ermüdung, unzureichende Regeneration während der Testpause) und zufolge eine höhere Herzfrequenz bei körperlicher Belastung während des zweiten Aufenthaltes im sauerstoffreduzierten Raum zu prüfen, wurden die Daten unabhängig von der Sauerstoffgabe analysiert. Diese Analyse ermöglicht, eventuelle kumulative Zeiteffekte, die durch das Cross-over Design und die Betrachtungsweise „Unterschiede zwischen den Daten mit und ohne Sauerstoffzufuhr“ eliminiert werden, herauszustellen. Die durchschnittliche Herzfrequenz war während der zweiten körperlichen Belastung geringfügig niedriger als während der ersten, der Unterschied war jedoch nicht signifikant ($p = 0,573$). Kumulative Ermüdungseffekte durch die wiederholte Exposition konnten somit nicht festgestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass aufgrund der durchgehend niedrigeren Herzfrequenz unter Sauerstoffzufuhr von einem günstigen Effekt auf die kardiale Beanspruchung ausgegangen werden kann. Dieser positive Effekt tritt trotz erhöhter körperlicher Anstrengung (um 5,22 Watt höhere Leistung auf dem Stepper) durch das zusätzliche Gewicht des Rucksacks mit Sauerstoffabgabesystem auf. Ein Unterschied in der Geschwindigkeit, in der die Erholung eintritt, lässt sich nicht erkennen.

Die Veränderung der Herzfrequenz vor und während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre stellt Abbildung 3 dar.

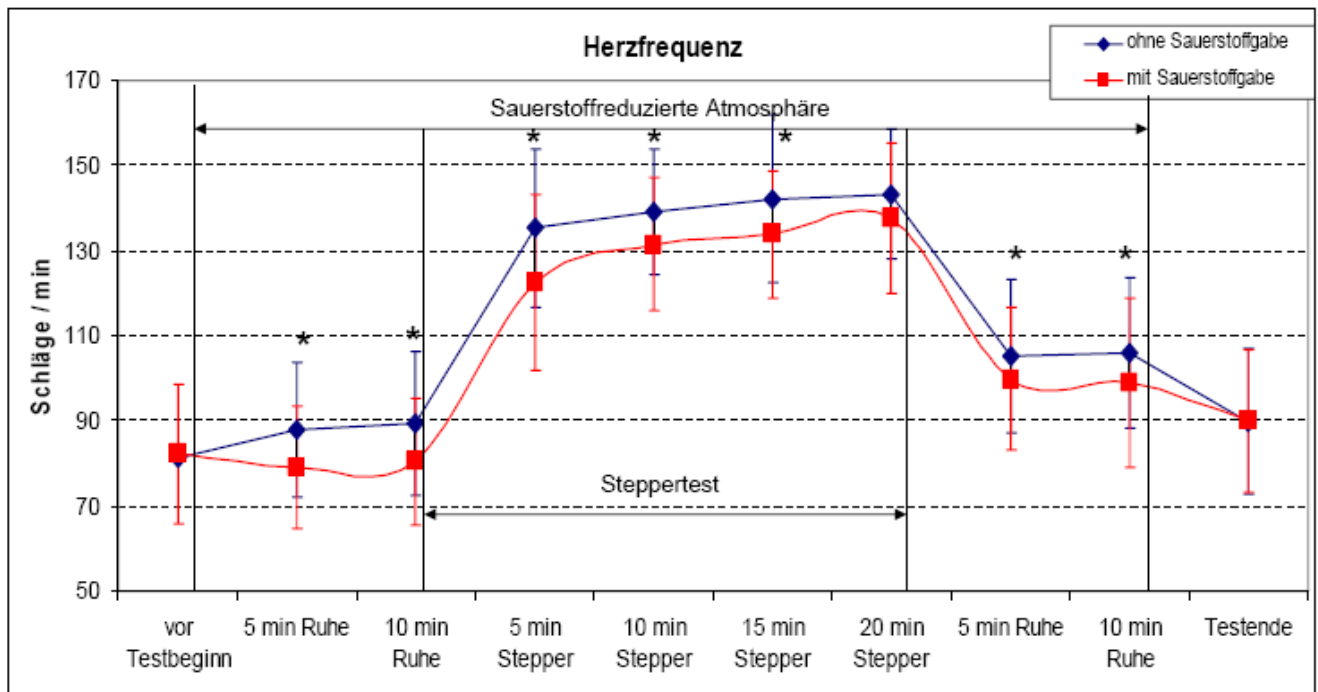


Abbildung 3: Veränderung der Herzfrequenz vor, während und nach dem Aufenthalt in sauerstoffreduzierter Atmosphäre
(MW \pm SD; * = $p < 0,05$)

Blutdruck

Die während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre gemessenen Werte des systolischen und diastolischen Blutdrucks unter den beiden Testbedingungen (mit und ohne Sauerstoffflasche) im intraindividuellen Vergleich werden in Tabelle 5a und 5b dargestellt.

Tabelle 5a: Blutdruck (systolisch) in mmHg (MW \pm SD) unter sauerstoffreduzierter Atmosphäre kombiniert mit körperlicher Belastung; mit und ohne Sauerstoffzufuhr. Der p-Wert bezieht sich auf den intraindividuellen Vergleich der beiden Bedingungen (t-Test oder Wilcoxon-Test).

Messzeitpunkt	<i>ohne</i> Sauerstoffgabe	<i>mit</i> Sauerstoffgabe	p-Wert
<i>Normale Atmosphäre, körperliche Ruhe</i>			
Minute 10	130,03 \pm 10,71	134,07 \pm 16,29	0,202
<i>Hypoxie, körperliche Ruhe</i>			
Minute 5	127,73 \pm 15,85	126,90 \pm 13,85	0,991
Minute 10	126,67 \pm 15,73	129,47 \pm 15,87	0,198
<i>Hypoxie, körperliche Belastung</i>			
Minute 5	149,13 \pm 18,53	150,13 \pm 18,79	0,718
Minute 10	159,53 \pm 17,58	154,30 \pm 19,71	0,093
Minute 15	154,93 \pm 21,66	154,00 \pm 19,96	0,506
Minute 20	153,62 \pm 20,91	155,62 \pm 24,52	0,819
Durchschnittlicher Wert während der Belastung	154,25 \pm 14,96	153,17 \pm 18,53	0,382
Minimaler Wert während der Belastung	139,53 \pm 20,52	142,30 \pm 18,45	0,572
Maximaler Wert während der Belastung	167,97 \pm 13,98	164,00 \pm 20,80	0,061
<i>Hypoxie, körperliche Ruhe / Erholung</i>			
Minute 5	127,83 \pm 11,79	132,97 \pm 15,54	0,041
Minute 10	131,13 \pm 15,80	128,13 \pm 14,22	0,315
<i>Normale Atmosphäre, Testphasenende, körperliche Ruhe</i>			
Minute 10	118,33 \pm 10,64	129,07 \pm 15,38	0,000

In normaler Luft vor Testbeginn unterschied sich der systolische Blutdruck nicht zwischen den Bedingungen. Auch unter Hypoxie unterschied sich der systolische Blutdruck mit Sauerstoffzufuhr aus der Flasche nicht signifikant von den gemessenen Werten während des gesamten Testdurchgangs ohne Sauerstoffzufuhr. Eine klare Tendenz zu niedrigeren oder höheren Werten und Sauerstoffgabe zu den einzelnen Messzeitpunkten konnte ebenfalls nicht festgestellt werden.

Direkt nach körperlicher Belastung, während der ersten 5 Minuten der Erholung im sauerstoffreduzierten Raum, konnten unter Sauerstoffabgabe signifikant höhere Werte festgestellt werden. Diese Beobachtung wiederholt sich während des Aufenthalts in normaler Luft zu den Testphasenabschlüssen; die Werte des systolischen Blutdrucks nach Sauerstoffgabe sind deutlich höher und haben im Vergleich zu den vorhergehenden Werten nicht abgenommen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass unter Sauerstoffzufuhr der systolische Blutdruck in Ruhe und unter Belastung in Hypoxie sich von dem ohne Sauerstoffzufuhr nicht unterscheidet. Nach Belastung fällt eine langsamere Normalisierung des systolischen Blutdrucks nach Sauerstoffgabe auf.

Um eventuelle kumulative Effekte (Ermüdung, unzureichende Regeneration während der Testpause), die trotz Studiendesign hätten auftreten können, und folglich einen höheren systolischen Blutdruck bei körperlicher Belastung während des zweiten Aufenthaltes im sauerstoffreduzierten Raum zu prüfen, wurden die Daten unabhängig von der Sauerstoffgabe analysiert. Dabei konnte kein signifikanter Unterschied ($p = 0,773$) gefunden werden. Kumulative Ermüdungseffekte durch die wiederholte Exposition konnten somit nicht festgestellt werden.

Tabelle 5b: Blutdruck (diastolisch) in mmHg (MW \pm SD) unter sauerstoffreduzierter Atmosphäre kombiniert mit körperlicher Belastung; mit und ohne Sauerstoffzufuhr. Der p-Wert bezieht sich auf den intraindividuellen Vergleich der beiden Bedingungen (t-Test oder Wilcoxon-Test).

Messzeitpunkt	<i>ohne</i> Sauerstoffgabe	<i>mit</i> Sauerstoffgabe	p-Wert
<i>Normale Atmosphäre, körperliche Ruhe</i>			
Minute 10	86,70 \pm 8,16	89,97 \pm 8,07	0,016
<i>Hypoxie, körperliche Ruhe</i>			
Minute 5	86,60 \pm 8,67	88,37 \pm 10,31	0,508
Minute 10	85,73 \pm 9,16	86,67 \pm 10,21	0,703
<i>Hypoxie, körperliche Belastung</i>			
Minute 5	82,50 \pm 15,36	85,77 \pm 10,45	0,577
Minute 10	83,67 \pm 12,36	85,97 \pm 12,29	0,312
Minute 15	82,83 \pm 12,36	81,48 \pm 9,34	0,636
Minute 20	85,17 \pm 13,71	84,31 \pm 12,20	0,646
Durchschnittlicher Wert während der Belastung	83,60 \pm 10,09	84,39 \pm 7,71	0,538
Minimaler Wert während der Belastung	74,17 \pm 14,14	76,37 \pm 8,37	0,542
Maximaler Wert während der Belastung	92,87 \pm 11,07	92,90 \pm 11,20	0,841
<i>Hypoxie, körperliche Ruhe / Erholung</i>			
Minute 5	86,90 \pm 9,68	90,30 \pm 9,87	0,043
Minute 10	86,70 \pm 11,62	89,30 \pm 8,93	0,081
<i>Normale Atmosphäre, Testphasenende, körperliche Ruhe</i>			
Minute 10	82,23 \pm 8,14	88,40 \pm 10,07	0,005

In normaler Luft vor Testbeginn war mit Sauerstoffzufuhr der diastolische Blutdruck höher als ohne. Mit Sauerstoffzufuhr aus der Flasche unterschied sich der diastolische Blutdruck nicht signifikant von den gemessenen Werten während des Testdurchgangs ohne Sauerstoffzufuhr. Eine klare Tendenz zu niedrigeren oder höheren Werten und Sauerstoffgabe zu den einzelnen Messzeitpunkten konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Direkt nach körperlicher Belastung, während der ersten 5 Minuten der Erholung im sauerstoffreduzierten Raum, konnten

unter Sauerstoffabgabe signifikant höhere Werte festgestellt werden. Diese Beobachtung wiederholt sich während des Aufenthalts in normaler Luft zu den Testphasenabschlüssen; die Werte des diastolischen Blutdrucks nach Sauerstoffgabe sind höher und haben im Vergleich zu den vorhergehenden Werten nur geringfügig abgenommen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass unter Sauerstoffzufuhr der diastolische Blutdruck in Ruhe und unter Belastung in Hypoxie sich von dem ohne Sauerstoffzufuhr nicht unterscheidet. Nach Belastung fällt eine langsamere Normalisierung des diastolischen Blutdrucks nach Sauerstoffgabe auf.

Um eventuelle kumulative Effekte (Ermüdung, unzureichende Regeneration während der Testpause) und folglich einen höheren diastolischen Blutdruck bei körperlicher Belastung während des zweiten Aufenthaltes im sauerstoffreduzierten Raum zu prüfen, wurden die Daten unabhängig von der Sauerstoffgabe analysiert. Der durchschnittliche diastolische Blutdruck betrug während der zweiten körperlichen Belastung minimal weniger als während der ersten, der Unterschied war jedoch nicht signifikant ($p = 0,793$). Kumulative Ermüdungseffekte durch die wiederholte Exposition konnten somit nicht festgestellt werden.

Die Veränderung des Blutdrucks (systolisch und diastolisch) vor und während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre stellt Abbildung 4 dar.

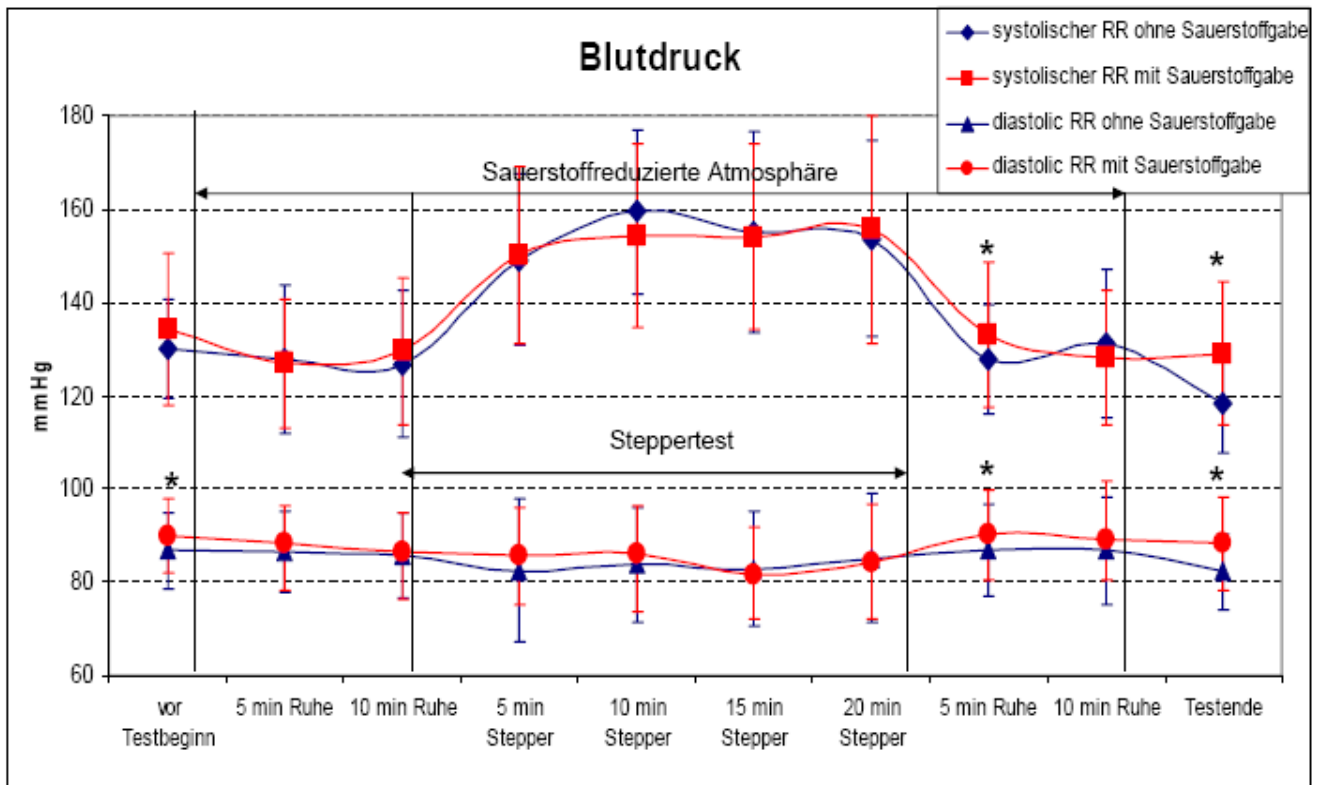


Abbildung 4: Veränderung des Blutdrucks (RR) vor, während und nach dem Aufenthalt in sauerstoffreduzierter Atmosphäre (MW \pm SD; * = $p < 0,05$)

Beschwerden im Sinne der akuten Höhenkrankheit

Nach spezifischen Beschwerden bei Aufenthalt in Atmosphäre mit vermindertem Sauerstoffpartialdruck, im Sinne einer akuten Höhenkrankheit wurde regelmäßig im gesamten Testverlauf gefragt.

Eine Darstellung der zu den jeweiligen Befragungszeitpunkten erhobenen Einzeldaten des Lake Louise Fragebogens werden in Tabelle 6a dargestellt.

Tabelle 6a: Häufigkeit von vorliegenden Beschwerden im Sinne einer AHK während der 4 Messzeitpunkten.

Variable (n Probanden)	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
<i>Normale Atmosphäre; vor Testbeginn; körperliche Ruhe</i>				
Kopfschmerzen	29	1	0	0
Gastrointestinale Symptome	30	0	0	0
Mattigkeit und / oder Schwäche	21	9	0	0
Schwindel	30	0	0	0
<i>Normale Atmosphäre, Testpause, körperliche Ruhe</i>				
Kopfschmerzen	26	4	0	0
Gastrointestinale Symptome	30	0	0	0
Mattigkeit und / oder Schwäche	23	7	0	0
Schwindel	30	0	0	0
<i>Sauerstoffreduzierte Atmosphäre, ohne Sauerstoffzugabe, nach körperlichen Anstrengung</i>				
Kopfschmerzen	25	4	1	0
Gastrointestinale Symptome	29	1	0	0
Mattigkeit und / oder Schwäche	12	14	4	0
Schwindel	15	15	0	0
<i>Sauerstoffreduzierte Atmosphäre, mit Sauerstoffzugabe, nach körperlichen Anstrengung</i>				
Kopfschmerzen	28	2	0	0

Gastrointestinale Symptome	30	0	0	0
Mattigkeit und / oder Schwäche	21	6	3	0
Schwindel	29	1	0	0

Score 0 = keine Beschwerden, Score 1 = leichte Beschwerden, Score 2 = mäßig schwere Beschwerden, Score 3 = schwere Beschwerden

Unter sauerstoffreduzierter Atmosphäre ohne Sauerstoffzugabe traten Beschwerden im Sinne einer AHK häufiger als mit Sauerstoffzugabe auf. Gemäß der Definition liegt eine AHK vor, wenn Kopfschmerzen als Leitsymptom und mindestens ein weiteres Symptom, der in Tabelle 6a genannter Beschwerden, vorliegt und eine Punktzahl von mindestens 3 erreicht ist. Die Häufigkeit von einem LLS- Score ≥ 3 , und somit das Vorliegen einer AHK während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre wird in Tabelle 6b dargestellt.

Tabelle 6b: Häufigkeit einer AHK (LLS ≥ 3) während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre.

		ohne Sauerstoffzugabe	mit Sauerstoffzugabe
AHK	Ja (Anzahl Probanden n, %)	5 (16,7)	0 (0)
	Nein (Anzahl Probanden n, %)	25 (83,3)	30 (100)

Keiner der Probanden hatte während des Aufenthaltes in normaler Atmosphäre oder in sauerstoffreduzierter Atmosphäre mit Sauerstoffgabe eine AHK.

Bei allen Probanden, die mindestens vorliegende Kopfschmerzen im LLS angaben und somit das Kriterium für Höhenkrankheit (AHK) erfüllten, konnte während des Aufenthaltes ohne Sauerstoffgabe (MW \pm SD: 3,60 \pm 0,89) im intraindividuellen Vergleich ein signifikant höherer Mittelwert

von Höhenbeschwerden als bei Aufenthalt mit Sauerstoffgabe ($MW \pm SD$: $0,60 \pm 0,89$) festgestellt werden ($p = 0,041$).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Beschwerden im Sinne der AHK mit Sauerstoffgabe seltener und weniger intensiv auftreten als ohne Sauerstoffgabe.

Anstrengungsempfinden, Erschöpfung, Tragekomfort der Geräte

Das subjektive Befinden der Probanden in den beiden Testsituationen wird in Tabelle 6c dargestellt.

Tabelle 6c: Verschiedene Aspekte des Befindens (MW \pm SD) nach körperlicher Belastung in sauerstoffreduzierter Atmosphäre; mit und ohne Sauerstoffzufuhr. Der p-Wert bezieht sich auf den Vergleich der beiden Bedingungen (t-Test oder Wilcoxon).

Variable	<i>ohne</i> Sauerstoffgabe	<i>mit</i> Sauerstoffgabe	p-Wert
<i>Differenz (nach – vor Belastungsversuch)</i>			
Allgemeinbefinden*	-1,53 \pm 1,50	-0,92 \pm 1,61	0,059
Körperliches „sich fit fühlen“*	-1,64 \pm 1,56	-0,29 \pm 1,36	0,003
<i>Anstrengung während der Belastung</i>			
Borgskala Anstrengung**	13,87 \pm 2,33	12,37 \pm 2,34	0,000
Borgskala Atemnot**	10,60 \pm 2,80	9,33 \pm 2,11	0,002
Leichtigkeit des Belastungstests*	5,59 \pm 2,41	6,60 \pm 1,97	0,003
Allgemeinbefinden*	6,00 \pm 2,09	6,70 \pm 2,04	0,024
Körperliches „sich fit fühlen“*	5,48 \pm 2,21	6,85 \pm 1,88	0,000

* hohe Werte sind günstig; ** niedrige Werte sind günstig

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit Sauerstoffzufuhr aus der Flasche das Anstrengungsempfinden in seinen verschiedenen Komponenten (Anstrengung, Atemnot, Beschwerlichkeit des Belastungstests, Allgemeinbefinden und körperliche Erschöpfung) während der Belastung signifikant geringer war als ohne Sauerstoffzufuhr.

76,7 % der Probanden empfanden den Stufentest global als leichter, wenn dieser mit Sauerstoffzufuhr durchgeführt wurde.

Der Tragekomfort der Geräte während des Versuches wurde von keinem der Probanden als sehr schlecht eingeschätzt. 3,3 % der Probanden beurteilten den Komfort als eher schlecht, 40 % als mittelmäßig, 36,7 % als eher gut und 20 % als sehr gut.

Herzrhythmusstörungen im Langzeit-EKG

Die Auswertung des Langzeit-EKG, aufgezeichnet während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre unter den beiden Testbedingungen (mit und ohne Sauerstoffflasche) für das Gesamtkollektiv wird in Tabelle 7a dargestellt.

Tabelle 7a: Langzeit- EKG Daten (MW \pm SD) unter sauerstoffreduzierter Atmosphäre kombiniert mit körperlicher Belastung in intraindividuellen Vergleich; mit und ohne Sauerstoffzufuhr. Der p-Wert bezieht sich auf den Vergleich der beiden Bedingungen (Wilcoxon-Test) während des Aufenthaltes im Raum.

Variable	<i>Gesamter Aufenthalt im Raum</i>		
	<i>ohne Sauerstoffgabe</i>	<i>mit Sauerstoffgabe</i>	p-Wert
VES	0,90 \pm 1,81	3,23 \pm 10,61	0,238
	<i>Steppertest bei Aufenthalt im Raum</i>		
	<i>ohne Sauerstoffgabe</i>	<i>mit Sauerstoffgabe</i>	p-Wert
VES	0,47 \pm 1,50	1,13 \pm 3,47	0,049

VES = ventrikuläre Extrasystolen

Insgesamt traten im Gesamtkollektiv grenzwertig signifikant mehr VES unter Hypoxie und Sauerstoffzugabe auf als ohne Sauerstoffzugabe. Bei einem Probanden wurden während des Aufenthaltes im Raum ohne Sauerstoffzufuhr 2 Bigeminus-Episoden, während des Aufenthaltes mit Sauerstoffzufuhr eine Trigeminus Episode registriert; diese Arrhythmien verschwanden komplett während der körperlichen Belastung (Steppertest). Weitere besondere Herzrhythmusstörungen konnten bei keinem der Probanden im EKG nachgewiesen werden.

Eine Untergruppenanalyse der Fälle, bei denen zu irgendeinem Zeitpunkt während des Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre mindestens

eine Arrhythmie aufgetreten ist, wurde durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Analyse werden in Tabelle 7b dargestellt.

Tabelle 7b: Langzeit- EKG Daten (MW \pm SD) unter sauerstoffreduzierter Atmosphäre kombiniert mit körperlicher Belastung in intraindividuellen Vergleich; mit und ohne Sauerstoffzufuhr. Der p-Wert bezieht sich auf den intraindividuellen Vergleich der beiden Bedingungen (Wilcoxon-Test) während des Aufenthaltes im Raum.

Variable	<i>Gesamter Aufenthalt im Raum</i>		
	<i>ohne</i> Sauerstoffgabe	<i>mit</i> Sauerstoffgabe	p-Wert
n (Probandenanzahl mit Arrhythmien)	11	12	-
VES	1,50 \pm 2,15	5,39 \pm 13,41	0,238
	<i>Steppertest bei Aufenthalt im Raum</i>		
	<i>ohne</i> Sauerstoffgabe	<i>mit</i> Sauerstoffgabe	p-Wert
n (Probandenanzahl mit Arrhythmien)	6	10	-
VES	1,18 \pm 2,36	2,91 \pm 5,39	0,056

VES = ventrikuläre Extrasystolen

Diese Untergruppenanalyse zeigt eine höhere durchschnittliche Anzahl von VES während des Aufenthaltes im Raum mit Sauerstoffgabe. Die Zunahme war jedoch im Vergleich zum Aufenthalt im sauerstoffreduzierten Raum ohne Sauerstoffzugabe nicht signifikant. Bei der Auswertung der Daten während des Steppertests konnten tendenziell signifikant mehr VES bei Sauerstoffgabe als ohne Sauerstoffgabe festgestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass – bei insgesamt sehr geringer Häufigkeit von VES diese nicht eindeutig unterschiedlich sondern nur tendenziell häufig mit Sauerstoffzufuhr auftragen.

Um eventuelle kumulative Effekte (Ermüdung, unzureichende Regeneration während der Testpause) und demzufolge eine höhere Anzahl von VES während des zweiten Aufenthaltes im sauerstoffreduzierten Raum zu prüfen, wurden die Daten unabhängig von der Sauerstoffgabe analysiert. Die Analyse der EKG- Daten aus dem Gesamtkollektiv, unabhängig ob der Raum mit oder ohne Sauerstoffgabe betreten wurde, also im zeitlichen Verlauf, wird in Tabelle 7c dargestellt.

Tabelle 7c: Langzeit- EKG Daten (MW \pm SD) aus dem Gesamtkollektiv unter sauerstoffreduzierter Atmosphäre kombiniert mit körperlicher Belastung im intraindividuellen Vergleich; unabhängig von der Sauerstoffzufuhr. Der p-Wert bezieht sich auf den Vergleich der beiden Bedingungen (Wilcoxon-Test) während des Aufenthaltes im Raum.

Variable	<i>Gesamter Aufenthalt im Raum</i>		
	<i>Erster Aufenthalt</i>	<i>Zweiter Aufenthalt</i>	p-Wert
VES	3,37 \pm 10,58	0,77 \pm 1,79	0,039
	<i>Steppertest bei Aufenthalt im Raum</i>		
	<i>Erster Aufenthalt</i>	<i>Zweiter Aufenthalt</i>	p-Wert
VES	1,07 \pm 3,46	0,53 \pm 1,55	0,267

VES = ventrikuläre Extrasystolen

Insgesamt wurden während des zweiten Aufenthaltes im sauerstoffreduzierten Raum (Ruhe, Steppertest, Ruhe) signifikant weniger ventrikuläre Extrasystolen im Langzeit-EKG festgestellt. Die durchschnittliche Anzahl von VES war während der zweiten körperlichen Belastung geringfügig weniger als während der ersten, der Unterschied war jedoch nicht signifikant. Kumulative proarrhythmogene Effekte durch die wiederholte Exposition konnten nicht festgestellt werden.

Visumotorische Untersuchung

Die Auswertung der Ergebnisse der visumotorischen Untersuchung (Pegboard Test) während des Aufenthaltes in normaler Atmosphäre vor dem Testbeginn und in der Pause, sowie in sauerstoffreduzierter Atmosphäre unter den beiden Testbedingungen (mit und ohne Sauerstoffflasche) für das Gesamtkollektiv werden in Tabelle 8a und 8b dargestellt.

Tabelle 8a: Durchführungszeit des Pegboards in Sekunden (MW \pm SD) unter sauerstoffreduzierter Atmosphäre nach körperlicher Belastung im intraindividuellen Vergleich; mit und ohne Sauerstoffzufuhr. Der p-Wert bezieht sich auf den Vergleich der beiden Bedingungen (Wilcoxon-Test und χ^2).

Variable	<i>ohne</i> Sauerstoffgabe	<i>mit</i> Sauerstoffgabe	p-Wert
Durchführungszeit (Sekunden)	50,56 \pm 7,16	49,35 \pm 6,08	0,382
Fehler in der Durchführung bei n Probanden (Gesamtzahl gefallener Pegs)	5 (8)	4 (4)	0,820

Mit Sauerstoffgabe war die durchschnittliche Durchführungszeit des Tests in sauerstoffreduzierter Atmosphäre nicht signifikant kürzer. Die Fehlerhäufigkeit war unter den beiden Testbedingungen nicht signifikant unterschiedlich.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich keine Unterschiede in der Bearbeitungsgeschwindigkeit und der Qualität im Grooved Pegboard Test zwischen der Testdurchführung mit und ohne Sauerstoffzufuhr erkennen lassen.

Lerneffekte

Um eventuelle Lerneffekte durch Wiederholungen des gleichen Testes nachzuweisen, wurden die Daten unabhängig von der Sauerstoffgabe analysiert.

Tabelle 8b: Durchführungszeit des Pegboards in Sekunden (MW \pm SD) unter normaler Atmosphäre und körperlicher Ruhe, vor dem ersten (Testbeginn) und vor dem zweiten Betreten (Testpause) des Raumes mit sauerstoffreduzierter Atmosphäre. Der p-Wert bezieht sich auf den intraindividuellen Vergleich der beiden Bedingungen (Wilcoxon-Test und χ^2).

Variable	Testbeginn	Testpause	p-Wert
Durchführungszeit (s)	52,19 \pm 8,01	48,93 \pm 5,38	0,035
Fehler in der Durchführung bei n Probanden (Gesamtzahl gefallener Pegs)	1 (2)	2 (2)	0,850

Hinsichtlich der Durchführungszeit lässt sich somit ein Verbesserungseffekt (Lerneffekt) zwischen der ersten und der dritten Durchführung, beide in normaler Luft, feststellen.

Die Analyse der Durchführungsdauer im zeitlichen Verlauf über alle 4 Messzeitpunkte, getrennt nach den beiden möglichen Reihenfolgen der Versuchsdurchführung ((1) ohne Flasche, mit Flasche; (2) mit Flasche, ohne Flasche) wird in Tabelle 8c dargestellt.

Tabelle 8c: Zeitlicher Verlauf der Pegboard Durchführungsdauer in Sekunden (MW \pm SD) im intraindividuellen Vergleich; Kollektiv unterteilt nach Studienprotokoll. Die p-Werte beziehen sich auf den Vergleich der jeweiligen Messungen (Wilcoxon-Test). T1 = Testbeginn, normale Atmosphäre; T2 = Test während des ersten Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre und nach körperlichen Betätigung; T3 = Testpause, normale Atmosphäre; T4 = Test während des zweiten

Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre und nach körperlichen Betätigung

	ohne Flasche – mit Flasche (n = 15)				mit Flasche – ohne Flasche (n = 15)			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Dauer (s)	53,51 ± 8,94	53,25 ± 7,79	49,28 ± 4,40	47,91 ± 5,08	50,86 ± 7,02	50,79 ± 6,80	48,59 ± 6,36	47,86 ± 5,49
$P_{T1 - T2}$	0,925				0,865			
$P_{T2 - T3}$	0,008				0,053			
$P_{T3 - T4}$	0,320				0,649			
$P_{T1 - T4}$	0,047				0,100			
$P_{T2 - T4}$	0,003				0,036			
$P_{T1 - T3}$	0,073				0,233			

Zur übersichtlicheren Veranschaulichung der Ergebnisse, werden die oben aufgeführten Werte graphisch in Abbildung 5 dargestellt.

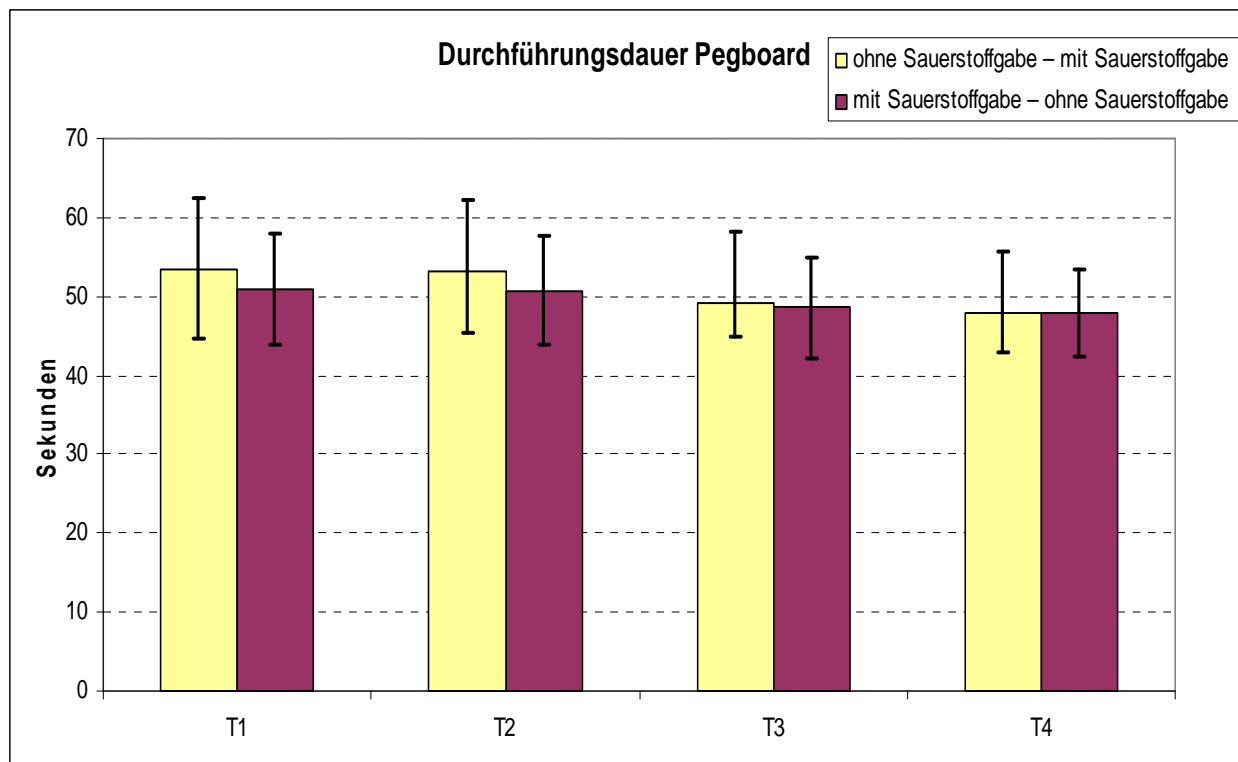


Abbildung 5: Zeitverlauf der Pegboard Durchführungsdauer in Sekunden ($MW \pm SD$), Kollektiv unterteilt nach Studienprotokoll.

T1 = Testbeginn, normale Atmosphäre; T2 = Test während des ersten Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre und nach körperlichen Betätigung; T3 = Testpause, normale Atmosphäre; T4 = Test während des zweiten Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre und nach körperlichen Betätigung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein Lerneffekt, der zwischen dem 1. und dem 3. Messzeitpunkt nachweisbar ist, zwischen dem 3. und 4. Zeitpunkt nicht mehr auftritt. Die Exposition gegenüber sauerstoffreduzierter Atmosphäre ohne Sauerstoffzufuhr hat keinen Effekt auf die neuromotorische Leistung; entsprechend hat auch die Sauerstoffzufuhr keinen Effekt auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit und die Qualität im neuromotorischen Pegboard Test.

Diskussion

Hauptbefunde

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass in einem Raum mit vermindertem Sauerstoffgehalt (normobare Hypoxie, 13,2 Vol% Sauerstoff, auf 500 m Höhe gelegen, entsprechend in etwa dem Sauerstoffpartialdruck in 4.300 m Höhe) die Sauerstoffsättigung im Blut der gesunden Versuchspersonen unter körperlicher Ruhe, mäßiger körperlicher Belastung und Erholung bei Sauerstoffzufuhr von bis zu 3,5 Liter pro Minute signifikant höher lag als bei denselben Versuchspersonen, wenn sie keinen Sauerstoff erhielten.

Die kardiozirkulatorische Beanspruchung wurde einerseits gemessen als Herzfrequenz, Auftreten von Herzrhythmusstörungen, Absinken der Herzfrequenz nach Belastung (Geschwindigkeit der Erholung) und Blutdruck (sowohl systolisch als auch diastolisch), andererseits als subjektive Empfindung von Anstrengung und von typischen Beschwerden der Versuchspersonen mittels Fragebogen erfasst.

Mit Sauerstoffzufuhr aus der Flasche war unter allen Versuchsbedingungen in Hypoxie (körperliche Ruhe, Belastung, Erholung) die Herzfrequenz statistisch signifikant niedriger als ohne Sauerstoffzufuhr, in Erholungsphase nach körperlicher Belastung in sauerstoffreduzierter Atmosphäre nahm die Herzfrequenz jedoch unter Sauerstoffzufuhr nicht schneller ab. Es wurden, bei insgesamt sehr geringer Häufigkeit, etwas mehr ventrikuläre Extrasystolen unter Belastung mit Sauerstoffzufuhr als ohne Sauerstoffzufuhr beobachtet. Von der Statistik her wäre es plausibel, einen Zufall anzunehmen (grenzwertig niedriger einzelner p-Wert bei multiplen Testen); auch wenn es sich um einen realen Effekt handeln sollte, so ist er ohne klinische Bedeutung; unter Belastung aufgetretene seltene einzelne VES sind als nichtpathologisch zu betrachten (Löllgen 2000).

Ein positiver Effekt der Sauerstoffzufuhr auf den Blutdruck (systolisch und diastolisch) wurde nicht festgestellt; geringfügig höhere Blutdruckwerte nach Belastung mit Sauerstoffzufuhr deuten auf eine etwas verzögerte Erholung hin, möglicherweise bedingt durch die gering höhere Leistung von 5,22 Watt, die das zusätzliche Tragen des Sauerstoffgeräts erfordert.

Die Sauerstoffsättigung im Blut ließ sich sowohl unter den Bedingungen der körperlichen Ruhe als auch unter körperlicher Belastung unter Hypoxie normalisieren bzw. im Normalbereich halten. Während körperlicher Belastung war ein Absinken der Sauerstoffsättigung zu beobachten, die jedoch stets innerhalb des unteren Normbereichs blieb.

Das allgemeine Befinden sowie das Anstrengungsempfinden in seinen verschiedenen Komponenten (Anstrengung, Atemnot, Beschwerlichkeit des Belastungstests, Allgemeinbefinden und körperliche Erschöpfung) wurden unter Sauerstoffzufuhr trotz zusätzlicher Belastung durch das Gewicht des gesamten On-Demand-Systems signifikant besser beurteilt als in der Versuchssituation ohne Sauerstoffzufuhr. Beschwerden im Sinne des Beschwerdekomplexes, der die akute Höhenkrankheit kennzeichnet, traten seltener unter Sauerstoffzufuhr auf, eine akute Höhenkrankheit im Sinne der Definition kam unter Sauerstoffzufuhr – im Gegensatz zur Testsituation ohne Sauerstoff – nicht vor.

Die durchschnittliche Durchführungszeit des visumotorischen Tests war in sauerstoffreduzierter Atmosphäre und mit Sauerstoffgabe minimal kürzer, aber nicht signifikant unterschiedlich zu der Dauer in der Versuchssituation ohne Sauerstoffgabe. Die Fehlerhäufigkeit war unter den beiden Testbedingungen nicht signifikant unterschiedlich.

Wurden die Probanden global zu den beiden Versuchsbedingungen befragt, gaben 76,7 % an, den Stufentest als leichter empfunden zu haben, wenn dieser mit Sauerstoffzufuhr durchgeführt wurde. Der Tragekomfort der Geräte während des Versuches wurde von 43,3 % der Probanden als eher schlecht oder mittelmäßig, und von 56,7 % als eher gut oder sehr gut beurteilt.

Diskussion methodischer Fragen

Aufenthalt und körperliche Betätigung in sauerstoffreduzierter Atmosphäre führen zu einer physiologischen Beanspruchung. Die hier vorgelegte Untersuchung sollte zur Klärung der Frage beitragen, ob das getestete Sauerstoff On-Demand-System zu einer Normalisierung der Sauerstoffsättigung und zu einer Verringerung der Beanspruchung in Folge der doppelten Belastung (körperliche Arbeit und Hypoxie), d.h. eine Annäherung der Beanspruchung an die Bedingungen in normaler Luft führt. Die Verringerung der Beanspruchung konnte nachgewiesen werden. Ob dadurch Beanspruchungswerte erreicht werden können, die der in normaler Luft entsprechen, war nicht Gegenstand der Untersuchung.

Die Endpunkte wurden z.T. mit „objektiven“ Messmethoden erfasst (die aber dennoch einen Placeboeffekt, d.h. eine psychische Beeinflussung z.B. der Herzfrequenz oder des Blutdrucks nicht völlig ausschließen), z.T. durch direkte Befragung. Dazu wurden, soweit vorhanden, validierte Fragebögen wie die Borgskala eingesetzt, für die eine gute Korrelation mit direkt messbaren Beanspruchungswerten belegt ist (Löllgen 2004). Für den (nahezu) kompletten Ausschluss einer psychischen Komponente auf die Endpunkte wäre eine Verblindung der Testbedingung (z.B. 50 % der Probanden führen den Test mit Sauerstoff On-Demand-System und 50 % mit „Placebo“ Sauerstoff On-Demand-System, randomisierte Zuordnung der Probanden in eine Gruppe) der Goldstandard gewesen. Dieses

Untersuchungsdesign hätte jedoch die wirkliche Situation nicht abgebildet: Es ging hier um die praktische Frage, ob das Betreten sauerstoffreduzierter Arbeitsräume mit Sauerstoffzufuhr – und damit notwendigerweise mit dem Tragen von Flasche und On-Demand-System – günstiger ist als das Betreten gänzlich ohne Ausrüstung. Eine „Placebo-Ausrüstung“ hätte bei der Bedingung „ohne Sauerstoff“ zu einer unrealistischen Gewichtsbelastung geführt.

Um die Effektivität des getesteten Sauerstoff On-Demand-Systems zu prüfen, führte jeder Proband den Test einmal mit und einmal ohne Sauerstoff On-Demand-System durch. Durch den zweifachen Aufenthalt im Raum konnten die bestimmten Beanspruchungswerte intraindividuell verglichen werden. Um einen Einfluss der Reihenfolge („Zeiteffekt“) als mögliche Verzerrung (Bias) auszuschließen, wurde das Cross-over Design gewählt: Die Probanden führten die gesamte Untersuchung in 2-er Gruppen durch, dabei trug immer ein zufällig ausgesuchter Proband das aktivierte Sauerstoff On-Demand-System während des ersten Aufenthalts in sauerstoffreduzierter Atmosphäre, nach der Pause in normaler Luft wurde getauscht. Separat davon, z.B um die Frage zunehmender Ermüdung durch den 2 fachen Versuch zu klären, wurden alle Messergebnisse des zweiten. mit den Messergebnissen des ersten Durchgangs verglichen. Ein geringer Zeiteffekt, ließ sich nur für den Pegboard Test zeigen, dies ist als Lerneffekt zu werten. Das heißt, dass trotz 2 mal 40 min Belastung in sauerstoffreduzierter Atmosphäre, getrennt durch eine 40 min Pause, der zweite Durchgang nicht beanspruchender war als der erste.

Die in diesem Versuch erbrachte Leistung in Watt hing vom Körpergewicht ab, da - um eine realistische Situation zu simulieren - ein Steigerversuch gewählt wurde. Zudem geht bei dieser Belastungsform das zusätzliche Gewicht des Rucksacks von fast 4 kg mit ein. Unter Berücksichtigung des

mittleren Körpergewichts des untersuchten Kollektivs entsprach dies einer mittleren Leistung von 110,6 Watt. Zuzüglich des Rucksackes mit dem Sauerstoffzufuhrsystem resultierte eine mittlere Belastung von ca. 116 Watt. Somit war die Belastung mit Sauerstoffzufuhr um 4,9 % höher als ohne Sauerstoffzufuhr. Diese Zusatzbelastung hätte man durch eine Verblindung der Testbedingungen (s.o.) umgehen können, unter Berücksichtigung der bereits genannten Gründe wurde jedoch darauf verzichtet.

Die körperliche Belastung wurde konstant in sauerstoffreduzierter Atmosphäre bei 13,2 Vol% O₂ über 20 Minuten durchgeführt. Eine geringere Sauerstoffkonzentration während des Testablaufs konnte nicht erreicht und eingehalten werden. Dies resultiert aus der Tatsache, dass die festgelegte Mindestsauerstoffkonzentration im Raum aus sicherheitstechnischen Gründen sinnvollerweise 13 Vol% O₂ beträgt; dabei kann aus technischen Gründen die Sauerstoffkonzentration im Raum um $\pm 0,1$ Vol% O₂ um den Zielwert von 13,2 Vol% O₂ schwanken. Wäre der Sauerstoffgehalt in der Raumluft zu irgendeinem Zeitpunkt unter dem Wert von 13,0 Vol% O₂ gesunken, hätte dieser u.U. die Mindestsauerstoffkonzentration unterschritten mit der Folge, dass sofort akustischer und visueller Alarm ausgelöst und die Anlage sich automatisch abschalten würde. Diese technische Besonderheit eines echten Arbeitsraums im Vergleich zum beliebig einstellbaren Versuchsraum, in dem die in der Einleitung erwähnte Untersuchung eines anderen Sauerstoff-On-Demand Systems durchgeführt wurde, wird dadurch kompensiert, dass die hier beschriebene Untersuchung auf 500 m Höhe stattfand. Wenn die Untersuchung in einer gleichen Anlage, nach dem gleichen Ablauf aber auf Meereshöhe durchgeführt worden wäre, dann entspräche der Sauerstoffpartialdruck in der Anlage mit 13,2 Vol% O₂ dem Sauerstoffpartialdruck in ca. 3800 m Höhe. Bei der Durchführung der

Untersuchung in einer Anlage in ca. 500 m Höhe, führt der höhenbedingte geringere Sauerstoffpartialdruck in Kombination mit der Absetzung der Sauerstoffkonzentration in dem Versuchsraum auf 13,2 Vol% zu einem Sauerstoffpartialdruck in dem Raum entsprechend dem Wert des Sauerstoffpartialdruckes in ca. 4300 Höhenmeter.

In der vorliegenden Untersuchung sollte geklärt werden, ob sich prinzipiell die Beanspruchung in Hypoxie durch die Sauerstoffzufuhr reduzieren lässt. Daher wurde für Aufenthalt in sauerstoffreduzierter Atmosphäre und die körperliche Belastung in dieser Atmosphäre eine Zeitspanne gewählt (40 bzw. 20 Minuten), die nach unseren Erfahrungen typisch für entsprechende Tätigkeiten ist. Sicherlich können andere Aufenthaltszeiten in Hypoxie und andere Tätigkeiten zu geringeren oder höheren Beanspruchungen führen. Es gibt jedoch keinen Grund anzunehmen, dass die relative Verminderung der Beanspruchung, die in dieser Untersuchung dokumentiert wurde, unter anderen Umständen geringer ausfallen sollte; die absolute Höhe der Beanspruchung hängt natürlich – bei gleich bleibender Sauerstoffgabe - von der Belastung an sich ab.

Über die Auswirkung von längerem Aufenthalt in sauerstoffreduzierter Atmosphäre auf die zerebralen Funktionen kann aus den vorliegenden Daten keine Aussage gemacht werden.

Diskussion der inhaltlichen Bedeutung

Während die festgestellte Normalisierung der Sauerstoffsättigung unter adäquater Sauerstoffzufuhr und die entsprechende Absenkung der Herzfrequenz dem aufgrund Voruntersuchungen und physiologischen Berechnungen Erwarteten entsprach, gab es für die Entwicklung des Blutdrucks keine begründeten Annahmen (Angerer, Petru et al. 2008). In

der Pilotstudie konnte unter unzureichender Sauerstoffzufuhr mit 1 l pro Minute kein Einfluss auf den Blutdruck erkannt werden. Dieses Ergebnis steht aber nicht in Widerspruch mit bereits veröffentlichten Studien, die zeigten, dass der Blutdruck bei Aufenthalt in hypobarer Hypoxie sich nicht wesentlich verändert (Bärtsch und Gibbs 2007; Mytton, Simpson et al. 2008; Nault, Halman et al. 2009). Die etwas verzögerte Normalisierung des Blutdrucks nach Belastung mit Sauerstoffzufuhr in der aktuellen Untersuchung könnte sich als Reaktion auf die etwas höhere Leistung erklären, die das Tragen der Ausrüstung erfordert. Der Effekt betrifft den systolischen und diastolischen Blutdruck und ist statistisch signifikant, klinisch aber eher unbedeutend: zum einen erreichen die Werte im Mittelwert den Normalbereich, zum anderen ist aus dem Verlauf anzunehmen, dass die weitere Normalisierung zeitverzögert, aber wenig später eintreten wird.

Bei insgesamt sehr geringer Häufigkeit von ventrikulären Extrasystolen kann die Tendenz zum häufigeren Auftreten unter Sauerstoffzufuhr als durch die gering höhere Belastung induziert gewertet werden, ist jedoch klinisch ohne Bedeutung.

Berufliche Expositionen gegenüber Hypoxie werden auch während Reisen oder Arbeit in geographisch hohen Lagen beobachtet. Während Flugreisen kommt es aufgrund des Kabinendruckes von durchschnittlich entsprechend 1500 Höhenmeter zu einer milderer Beanspruchung als in dieser Untersuchung (Kelly, Seccombe et al. 2007). Bei körperlicher Anstrengung in geographisch höheren Lagen ist eine wesentliche Minderung der kardiozirkulatorischen Beanspruchung und Ermüdung von Personen mit verminderter physischen Leistungsfähigkeit und / oder Herz-Kreislaufkrankungen und gleichzeitiger Gewährleistung von mehr Sicherheit durchaus vorstellbar.

Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre (normobare Hypoxie) in Brandvermeidungsanlagen unterscheiden sich jedoch von Tätigkeiten in hypobarer Hypoxie. In Brandvermeidungsanlagen erfolgt die Exposition meistens schlagartig (durch das Öffnen einer Tür zum entsprechenden Raum) und mehrmalig am Tag. Bei Eintritt in sauerstoffreduzierter Atmosphäre werden bereits in der Einleitung erwähnte physiologische Reaktionen hervorgerufen.

Mitarbeiter können wegen betriebsinterner Gründe (Inbetriebnahme der Brandvermeidungsanlage, Veränderung von Zuständigkeiten oder Aufgaben) bei kurzer Vorlaufzeit mit der Exposition gegenüber sauerstoffreduzierter Atmosphäre konfrontiert werden. Obwohl Personen mit schweren Lungen- oder Herz-Kreislaufkrankungen von derartigen Tätigkeiten ausgeschlossen werden, besteht die Möglichkeit der Exposition von asymptomatischen Personen einschließlich solcher mit Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen (z.B. Diabetes). In solchen Fällen kann die Benutzung eines entsprechenden Sauerstoffzufuhrsystems bei bestimmten Tätigkeiten, die körperliche Anstrengung erfordern (z.B. Klettern auf Hochregale) aufgrund der Minderung der subjektiven Beanspruchung durchaus praktikabel sein.

Günstig und für die Akzeptanz dieser Art von Sauerstoffzufuhr als Arbeitsmittel ist sicherlich der für die Probanden fühlbare Nutzen der Sauerstoffzufuhr: Einzelne Beschwerden aus dem Symptomenkomplex der Höhenkrankheit traten geringer auf und das „Vollbild“ einer milden Höhenkrankheit (d.h. Kopfschmerzen und mindestens ein weiteres Symptom mit einer summierten Schwere von 3 oder größer auf einer Skala von 0-12) wurde komplett vermieden; das Anstrengungs- und Atemnotempfinden war geringer und die Probanden fühlten sich insgesamt besser. Auch dies ist nicht trivial, da durch die zusätzliche Last des Rucksacks die Arbeit durchaus auch als beschwerlicher hätte empfunden werden können. Die Beschwerlichkeit und Unhandlichkeit ist

das Hauptproblem für die von manchen Berufsgenossenschaften und aktuellen Regelungen geforderten umgebungsluftunabhängigen Atemschutzgeräte (LASI 2005). Diese Geräte sind sehr schwer, klobig, mit eventuellen weiteren Sicherheitsvorkehrungen (z.B. Absturzsicherung) nicht kompatibel und dadurch nicht oder nur im geringen Maße akzeptiert und verwendet.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieses Systems der Sauerstoffzufuhr ist in jedem Fall eine unbehinderte Nasenatmung, damit der Sauerstoff in die Atemwege gelangen kann. Ansonsten müsste auf eine Maske ausgewichen werden.

Mehr als 75% der Teilnehmer fanden insgesamt die Testanforderungen leichter mit dem Sauerstoffgerät zu bewältigen, mehr als 50% haben das Tragen des Systems als angenehm empfunden. Zum einen war die Flasche größer als der Rucksack, was die Stabilität des Systems gelegentlich beeinträchtigte (Flasche drohte herauszurutschen); zum anderen schwitzten die Teilnehmer z.T. erheblich am Rücken unter dem Rucksack. Diese Mängel lassen sich im Prinzip durch ein verbessertes Rucksacksystem ausgleichen. Nichtsdestoweniger bleibt es unwahrscheinlich, dass alle Personen mit dem System optimal zurechtkommen. Da das Ziel des Tragens von Sauerstoffzufuhr eine Reduktion einer physiologischen Beanspruchung ist, d.h. nicht die Vermeidung von Gefahr, sondern eine Erleichterung der Arbeit und es sich somit um ein Arbeitsmittel im weiteren Sinn handelt, sollte von einer Verpflichtung des Gebrauchs abgeraten werden und wenn, dann eher das Bereitstellen zur Pflicht gemacht werden.

In einer früheren experimentellen Untersuchung mit fast 90 Probanden zwischen 18 und 65 Jahren wurde festgestellt, dass ein zweistündiger Aufenthalt in 13 Vol% Sauerstoff auf 500 m Höhe kombiniert mit zwei 10-

minütigen milden körperlichen Belastung, keine Änderung in einer Reihe von neuropsychologischen Tests: Wiener Testsystem (Determinations- und Reaktionstest); aktives und passives Wortgedächtnis, Lösung komplexer Aufgaben in einem Text zur Non-Verbalen Intelligenz, Aufmerksamkeits-Belastungs-Test D2 bewirkte (Härle 2005). Nach erneuter Literatursichtung wurde für die aktuelle Testreihe der „Grooved Pegboard Test“ ausgewählt, da hier – nach Berichten in der Forschungsliteratur – zumindest in extremeren Situationen in einzelnen Untersuchungen Effekte beobachtet wurden (Virues-Ortega, Buela-Casal et al. 2004).

Im Rahmen unserer Untersuchung ließ sich weder eine Verschlechterung der Testleistung in Hypoxie, noch ein Unterschied zwischen Hypoxie mit und ohne Sauerstoffzufuhr feststellen. Die neuropsychologische Beeinträchtigung und deren Beeinflussbarkeit durch Sauerstoffzufuhr kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse zumindest für die praktische Anwendung bei Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre von untergeordneter Bedeutung angesehen werden, da die Effekte, wenn vorhanden, sehr klein und klinisch nicht relevant sind.

Was die Übertragung der hier dargestellten Ergebnisse auf andere Kollektive betrifft gilt einschränkend, dass es sich zwar zu gut der Hälfte um Personen handelte, die beruflich in sauerstoffreduzierter Atmosphäre arbeiten, d.h. um ein typisches Kollektiv, dennoch um Personen, die sich freiwillig gemeldet haben und - wie eingangs dargestellt – nur wenige Krankheiten hatten. Die Untersuchung lieferte keine Hinweise, dass die festgestellten positiven Effekte nicht auch auf ältere oder kränkere Personen zutreffen würden.

Schlussfolgerung

Unter Sauerstoffzufuhr von bis zu 3,5 l Sauerstoff / Minute lässt sich die Sauerstoffsättigung von Personen, die in einer Atmosphäre mit $13,2 \pm 0,1$

Vol % O₂ auf 500 m Höhe Arbeiten mit körperlicher Belastung erbringen, auf einen Normalwert anheben. In Folge konnten deutlich positive Effekte der Sauerstoffzufuhr auf die Herzfrequenz und das Befinden festgestellt werden. Die Änderung des Blutdrucks infolge der Belastung und die Geschwindigkeit sowie die Fehleranfälligkeit der Probanden bei der Durchführung des visumotorischen Tests blieben von der Sauerstoffgabe praktisch unbeeinflusst. Eine Beeinträchtigung visumotorischer Fähigkeiten durch den Aufenthalt in sauerstoffreduzierter Atmosphäre mit oder ohne Sauerstoffzufuhr wurde nicht festgestellt.

Aufgrund der Ergebnisse und der positiven Einschätzung des Versuchs mit dem getesteten On-Demand-System durch die Probanden ermöglichen diese Geräte eine Verringerung der körperlichen Beanspruchung und sind eine Alternative zur Arbeit ohne Sauerstoffzufuhr und zu den unhandlichen und schweren Umgebungsluft unabhängigen Atemgeräten.

Zusammenfassung

Die Studie sollte zur Klärung der Fragen beitragen, ob:

- 1) bei körperlicher Tätigkeit in normobarer Hypoxie (13,2 Vol% O₂ in 500m Höhe) ein durch die Atmung getriggertes Sauerstoffgerät mit mehr als 3 l/ min Sauerstoffabgabe: die subjektiv empfundene (Befinden) sowie die messbare kardiovaskuläre Beanspruchung (Sauerstoffsättigung, Herzfrequenz, Blutdruck) positiv beeinflussen kann,
- 2) die Sauerstoffsättigung in Ruhe und unter Belastungsbedingungen normalisiert,
- 3) die Befindlichkeit während der Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre nicht negativ beeinflusst,

- 4) ob visumotorische Fähigkeiten durch das System beeinflusst werden und
- 5) wie der Tragekomfort dieser Systeme von den Probanden bewertet wurde.

30 gesunde Probanden (Alter $36,57 \pm 10,47$ Jahre) wurden nach medizinischer Voruntersuchung in die Studie eingeschlossen. Zu Beginn der Untersuchung wurden bei allen Probanden anhand von Fragebögen Informationen zum Gesundheits- und Fitnesszustand erfragt, anschließend führten sie in einem Raum mit 13,2 Vol% O₂ nach einer Eingewöhnungsphase von jeweils 20 min während 20 min eine mit 1,4 W/kg Körpergewicht definierte körperliche Belastung (Stepper) durch. Der Test erfolgte bei jedem Probanden einmal mit und einmal ohne Sauerstoff On Demand Gerät, welches Sauerstoff (100%; bis zu 3,5l/min) über eine Nasenbrille abgab. Zwischen den Tests bei 13,2 Vol% O₂ erfolgten 40 min Atmung in normaler Luft. Über den gesamten Ablauf wurden Sauerstoffsättigung, Blutdruck und Herzfrequenz registriert. Vor dem Betreten des Testraumes und unmittelbar nach Belastung wurden Allgemeinbefinden und körperliche Erschöpfung mittels visueller Analogskala erfasst, Atemnot- und Anstrengungsempfinden nach Belastung mittels Borg-Skalen und psychomotorische Fähigkeiten mittels Visumotorik-Test (pegboard).

Durch die erhobenen Daten können die eingangs gestellten Fragen im Einzelnen folgendermaßen beantwortet werden:

- 1) Unter Sauerstoffzufuhr von bis zu 3,5 Liter pro Minute lag die Sauerstoffsättigung während des gesamten Aufenthaltes in sauerstoffreduzierter Atmosphäre signifikant höher als bei denselben Versuchspersonen, wenn sie keinen Sauerstoff erhielten ($p < 0,001$). Mit Sauerstoffzufuhr war unter allen Versuchsbedingungen im Raum (körperliche Ruhe, Belastung,

Erholung) die Herzfrequenz statistisch signifikant niedriger als ohne Sauerstoffzufuhr ($p = 0,001$), in Erholungsphase nach körperlicher Belastung in sauerstoffreduzierter Atmosphäre nahm die Herzfrequenz jedoch unter Sauerstoffzufuhr nicht schneller ab ($p = 0,846$). Ein positiver Effekt der Sauerstoffzufuhr auf den Blutdruck (systolisch und diastolisch) wurde nicht festgestellt.

- 2) Die Sauerstoffsättigung im Blut ließ sich sowohl unter den Bedingungen der körperlichen Ruhe als auch unter körperlicher Belastung im Normalbereich halten.
- 3) Das allgemeine Befinden sowie das Anstrengungsempfinden in seinen verschiedenen Komponenten (Anstrengung, Atemnot, Beschwerlichkeit des Belastungstests, Allgemeinbefinden und körperliche Erschöpfung) wurden unter Sauerstoffzufuhr signifikant besser beurteilt als in der Versuchssituation ohne Sauerstoffzufuhr.
- 4) Psychomotorische Fähigkeiten (Visumotorik) wurden durch das Tragen des On-Demand-Systems nicht beeinflusst; im zeitlichen Verlauf konnte aber unabhängig von der Sauerstoffzufuhr ein Lerneffekt im Visumotorik-Test festgestellt werden.
- 5) Der Tragekomfort der Systeme wurde von mehr als die Hälfte der Probanden mit eher gut oder sehr gut beurteilt.

Aufgrund der Ergebnisse und der positiven Einschätzung des Versuchs mit dem getesteten On Demand System durch die Probanden ermöglichen diese Geräte eine Normalisierung der Sauerstoffsättigung und die Verringerung der körperlichen Beanspruchung. Sie sind somit eine echte Alternative zur Arbeit ohne Sauerstoffzufuhr und zu den unhandlichen, schweren Umgebungsluft unabhängigen Atemgeräten.

Literatur

- Agostoni, P., G. Cattadori, M. Guazzi, M. Bussotti, C. Conca, M. Lomanto, G. Marenzi und M. D. Guazzi (2000). "Effects of simulated altitude-induced hypoxia on exercise capacity in patients with chronic heart failure." Am J Med 109(6): 450-5.
- Angerer, P. und D. Nowak (2003). "Working in permanent hypoxia for fire protection-impact on health." Int Arch Occup Environ Health 76(2): 87-102.
- Angerer, P., Nowak, D. (2007). Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre. Handbuch der Arbeitsmedizin. S. Letzel, Nowak, D., ecomed. 2: DII-2.2.1.
- Angerer, P., R. Petru und I. Englmann (2009). "Arbeitsmedizinische Aspekte zu Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre. Literaturübersicht und Untersuchungen an exponierten Personen." Arbeitsmed.Sozialmed.Umweltmed. 44(1): 6-18.
- Angerer, P., R. Petru und K.-W. Stahmer (2008). "Arbeiten in sauerstoffreduzierten Räumen. Eine experimentelle Untersuchung zur Wirksamkeit von Atemluft unterstützenden Systemen." Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft.(10): 423-429.
- Bärtsch, P. und J. S. Gibbs (2007). "Effect of altitude on the heart and the lungs." Circulation 116(19): 2191-202.
- Burtscher, M. (2010). "[Effects of acute altitude exposure: which altitude can be tolerated?]." Wien Med Wochenschr 160(13-14): 362-71.
- Burtscher, M. und A. Ponchia (2010). "The risk of cardiovascular events during leisure time activities at altitude." Prog Cardiovasc Dis 52(6): 507-11.

- Dean, A. G., R. Yip und R. E. Hoffmann (1990). "High incidence of mild acute mountain sickness in conference attendees at 10,000 foot altitude." J Wilderness Med 1: 86-92.
- Hackett, P. H. und R. C. Roach (1995). High-altitude medicine. Wilderness Medicine. P. A. Auerbach und S. Louis. MO, Mosby: 1 - 37.
- Hackett, P. H. und R. C. Roach (2001). "High-altitude illness." N Engl J Med 345(2): 107-14.
- Harber, P., S. Santiago, S. Bansal, Y. Liu, D. Yun und S. Wu (2010). "Respirator physiologic impact in persons with mild respiratory disease." J Occup Environ Med 52(2): 155-62.
- Harber, P., D. Yun, S. Santiago, S. Bansal und Y. Liu (2011). "Respirator impact on work task performance." J Occup Environ Med 53(1): 22-6.
- Härle, C., (2005). "Einfluss von normobarer Hypoxie auf die Gesundheit: Auftreten der akuten Höhenkrankheit, Veränderungen der Befindlichkeit und physiologische Anpassungsmechanismen." Medizinische Fakultät, LMU München.urn:nbn:de:bvb:19-35735
- Higgins, J. P., T. Tuttle und J. A. Higgins (2010). "Altitude and the heart: is going high safe for your cardiac patient?" Am Heart J 159(1): 25-32.
- Honigman, B., M. K. Theis, J. Koziol-McLain, R. Roach, R. Yip, C. Houston, L. G. Moore und P. Pearce (1993). "Acute mountain sickness in a general tourist population at moderate altitudes." Ann Intern Med 118(8): 587-92.
- Hultgren, H. (1997). The systemic circulation. High Altitude Medicine. Stanford, Hultgren Publications.
- Hultgren, H. N. und E. A. Marticorena (1978). "High altitude pulmonary edema. Epidemiologic observations in Peru." Chest 74(4): 372-6.

- Kelly, P. T., L. M. Seccombe, P. G. Rogers und M. J. Peters (2007). "Directly measured cabin pressure conditions during Boeing 747-400 commercial aircraft flights." Respirology 12(4): 511-5.
- Larson, E. B., R. C. Roach, R. B. Schoene und T. F. Hornbein (1982). "Acute mountain sickness and acetazolamide. Clinical efficacy and effect on ventilation." Jama 248(3): 328-32.
- LASI (2005). "Handlungsanleitung für die Beurteilung von Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre für die Arbeitsschutzverwaltungen der Länder LV 38", Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz München.
- Löllgen, H. (2000). "Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik". Nürnberg, Novartis Pharma GmbH.
- Löllgen, H. (2004). "Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala)." Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 55(11): 299-300.
- Maggiorini, M. (2003). "Cardio-pulmonary interactions at high altitude. Pulmonary hypertension as a common denominator." Adv Exp Med Biol 543: 177-89.
- Maggiorini, M., B. Buhler, M. Walter und O. Oelz (1990). "Prevalence of acute mountain sickness in the Swiss Alps." BMJ 301(6756): 853-5.
- Maggiorini, M. und F. Leon-Velarde (2003). "High-altitude pulmonary hypertension: a pathophysiological entity to different diseases." Eur Respir J 22(6): 1019-25.
- Morgan, B. J., J. K. Alexander, S. A. Nicoli und H. L. Brammell (1990). "The patient with coronary heart disease at altitude: observations during acute exposure to 3100 m." J Wilderness Med 1: 147-153.
- Mytton, O. T., A. Simpson, A. A. Thompson, R. A. Oram, A. Darowski, L. M. Yu, D. J. Collier und A. J. Pollard (2008). "Manual assessment of the initial fall in blood pressure after orthostatic

- challenge at high altitude." Wilderness Environ Med 19(4): 225-32.
- Nault, P., S. Halman und J. Paradis (2009). "Ankle-brachial index on Kilimanjaro: lessons from high altitude." Wilderness Environ Med 20(1): 72-6.
- Nishihara, F., H. Shimada und S. Saito (1998). "Rate pressure product and oxygen saturation in tourists at approximately 3000 m above sea level." Int Arch Occup Environ Health 71(8): 520-4.
- Petru, R., I. Englmann und P. Angerer (2010). "Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre mit Sauerstoff On Demand System EDS-O2D1." Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin 45(6): V24.
- Pitteloud, J. J. und G. Forster (1963). "A simple ergometric technic: the modified step test." Schweiz Med Wochenschr 93: 1094-7.
- Roach, R. C., P. Bärtsch, O. Oelz und P. H. Hackett (1993). The Lake Louise acute mountain sickness scoring system. Hypoxia and Molecular Medicine. J. R. Sutton, C. S. Houston und G. Coates. VT, Queen City Press.
- Savourey, G., J. C. Launay, Y. Besnard, A. Guinet und S. Travers (2003). "Normo- and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences?" Eur J Appl Physiol 89(2): 122-6.
- Tiep, B. L., J. Barnett, G. Schiffman, O. Sanchez und R. Carter (2002). "Maintaining oxygenation via demand oxygen delivery during rest and exercise." Respir Care 47(8): 887-92.
- Virues-Ortega, J., G. Buela-Casal, E. Garrido und B. Alcazar (2004). "Neuropsychological functioning associated with high-altitude exposure." Neuropsychol Rev 14(4): 197-224.
- Wu, X., X. Li, L. Han, T. Wang und Y. Wei (1998). "Effects of acute moderate hypoxia on human performance of arithmetic." Space Med Med Eng (Beijing) 11(6): 391-5.

Anhang

Finanzielle Unterstützung

Die Untersuchung wurde finanziell durch die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA), Fluhmattstrasse 1, CH - 6002 Luzern unterstützt. Ein Einfluss auf das Studiendesign, Durchführung, Datenauswertung oder deren Interpretation seitens der SUVA fand nicht statt.

Hinweis

Die vorliegende Arbeit ist Grundlage des Abschlussberichtes für die SUVA.

Die Ergebnisse der Studie wurden im Rahmen der jährlichen Tagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeits- und Umweltmedizin im Jahr 2010 in Dortmund vorgestellt und als Abstract im Tagungsband veröffentlicht (Petru, Englmann et al. 2010).

Die Publikation der Studienergebnisse in einer internationalen Fachzeitschrift ist derzeit in Vorbereitung.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Peter Angerer für die Möglichkeit der Durchführung dieser Studie bedanken. Seine Unterstützung zu jeder Zeit und konstantes Engagement haben entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Herzlichen Dank auch an Herrn Prof. Dr. med. Dennis Nowak für seine hilfreichen Anmerkungen und dauerhafte Unterstützung.

Ein besonderer Dank gilt Frau Ines Englmann, Studienassistentin und Fachschwester für Anästhesie und Intensivtherapie für die Mitwirkung bei der Organisation und Umsetzung dieses Forschungsvorhabens und die harmonische Zusammenarbeit. Des Weiteren bedanke ich mich bei Frau Angelina Fass für die Unterstützung bei der Erhebung und Eingabe der hier verwendeten Daten, bei Herrn Dr. med. Martin Rüegger, SUVA, für die finanzielle Unterstützung, den Herren Anton Seidl und Ulrich Hillebrand aus dem Süddeutschen Verlag für die Erlaubnis zur Durchführung der Untersuchung in der verlagseigenen Anlage.

Schließlich möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Mutter für ihre Liebe und Zuversicht bedanken.

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Raluca Cosmina Petru
Geburtsdatum: 09.07.1975
Geburtsort: Temeswar (Timisoara), Rumänien

Schulbildung:

1981-1993: Schülerin und Abiturientin des „Nikolaus Lenau- Lyzeums “
Temeschburg (Timisoara)

Akademische Ausbildung:

1993-1999: Studentin der Universität für Medizin und Pharmazie „Victor Babes“, Temeswar (Timisoara), Fakultät für Medizin

Berufliche Tätigkeit:

03.01.2000-31.01.2001: Ärztin im Praktikum im Kreiskrankenhaus und
Universitätsklinik der Universität für Medizin und Pharmazie
„Victor Babes“ Temeswar (Timisoara)- Rumänien

01.02.2001-30.09.2002: Assistenzärztin im Städtischen Krankenhaus und
Universitätsklinik für Berufskrankheiten der Universität für
Medizin und Pharmazie „Victor Babes“ Temeswar
(Timisoara)- Rumänien

Seit 01.10.2002 : Ärztin und wissenschaftliche Mitarbeiterin im Institut und
Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der Ludwig-
Maximilians-Universität München- Weiterbildung im Fach
Arbeitsmedizin
- bis 31.07.2005: Förderung durch den DAAD (Deutscher
Akademischer Austauschdienst)

23.11.2011: Prüfung zur Fachärztin für Arbeitsmedizin

Anhang 1

Vorläufige Richtlinie für eine spezielle arbeitsmedizinische
Vorsorgeuntersuchung bei Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre zum
Zweck der Brandvermeidung

Anhang 2

Fragebögen ärztliche Anamnese,

Messprotokoll

Befindlichkeitsbogen

Klinikum der Universität München

Institut und Poliklinik für Arbeits- und
Umweltmedizin – Innenstadt
Direktor: Prof. Dr. med. Dennis Nowak

Vorläufige Richtlinie für eine spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung bei Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre zum Zweck der Brandvermeidung

0 Vorbemerkung: Die Richtlinie stellt einen Vorschlag der Autoren des Gutachtens („Arbeitsmedizinisch-wissenschaftliche Literaturstudie

zur Auswirkung einer normobaren hypoxischen Umgebungsatmosphäre auf den Menschen“ von Peter Angerer, Viktor Bäuerle und Dennis Nowak, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin, Universität München; Ziemssenstr. 1, D- 80336 München, Tel +49 89 5160 2440) dar, die nach Vorgaben des Arbeitskreises Feuerschutz der gewerblichen Berufsgenossenschaften hinsichtlich Anwendungsbereich (ursprünglich: ≤ 18 bis ≥ 13 Vol% Sauerstoff) und Nachuntersuchungsfristen (ursprünglich: alle Personen alle 2 Jahre) modifiziert wurde.

1 Anwendungsbereich

Jede Person, die Räume betritt, in denen der Sauerstoffgehalt auf eine Konzentration ≤ 17 bis ≥ 13 Vol% reduziert ist, sollte ärztlich untersucht werden, um Vorerkrankungen auszuschließen, die mit Gesundheitsgefahren durch Hypoxie einhergehen.

2 Untersuchungsarten

2.1 Erstuntersuchung

vor Aufnahme einer Tätigkeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre

2.2 Nachuntersuchungen

während dieser Tätigkeit

2.3 Nachgehende Untersuchungen

entfällt

3 Erstuntersuchung

3.1 Siebtest

3.1.1 Feststellung der Vorgeschichte:

Die allgemeine Anamnese, Arbeitsanamnese und aktuelle Beschwerden sind festzustellen.

Die Anamnese soll dann strukturiert nach unten skizzierten Fragebogen (siehe 3.3) durchgeführt werden. Wenn eine der Fragen mit "Ja" beantwortet wird, ist eine Ergänzungsuntersuchung durchzuführen.

Vorgeschichte (Fragen des Arztes/ der Ärztin an die untersuchte Person)

- Ist in Ihrer Familie eine gutartige Erkrankung des Blutes, eine erbliche Blutkrankheit, eine Blutarmut, eine Anämie, eine Sichelzellkrankheit bekannt?
 - Haben Sie bei früheren Aufenthalten in der Höhe (Berge) oder bei Flügen Schmerzen (außer Kopfschmerzen), z.B. Bauchschmerzen, Brustschmerzen, Gliederschmerzen etc. bekommen?
 - Haben Sie bei früheren Aufenthalten in der Höhe (Berge) oder bei Flügen Kopfschmerzen, Übelkeit/Erbrechen, Atemnot, Mattigkeit verspürt, so daß Sie sich krank gefühlt haben?
 - Haben Sie eine Ihnen bekannte Erkrankung des Herzens?
 - Haben Sie eine Ihnen bekannte Erkrankung der Lunge oder der Atemwege?
 - Haben Sie eine Ihnen bekannte Blutarmut?
 - Haben Sie eine Sichelzellkrankheit ?
 - Hatten Sie einen Schlaganfall, einen vorübergehenden Schlaganfall (transitorisch ischämische Attacke) ; oder ist Ihnen bekannt, ob Sie eine Verengung einer Halsschlagader haben?
 - Sind Sie wegen Herzrhythmusstörungen schon einmal ärztlich behandelt worden?
 - Haben Sie in den vergangenen 3 Monaten unter Schwindel gelitten, der Sie in Ihren Alltagsaktivitäten gehindert hat?
 - Sind Sie im vergangenen Jahr einmal bewußtlos geworden?
-
- Müssen Sie bei beruflichen oder privaten Tätigkeiten im Alltag pausieren, da Sie bei Anstrengung nicht ausreichend Luft bekommen?
 - Müssen Sie während des Ersteigens von 1 Stockwerk stehen bleiben, um Luft zu schöpfen?
 - Hat sich Ihre körperliche Leistungsfähigkeit in den vergangenen 3 Monaten merklich verschlechtert?
 - Haben Sie unter Belastung, körperlicher oder seelischer Art, Schmerzen oder Druckgefühl in der Brust?
 - Haben Sie im vergangenen Monat einmal Schmerzen in der Brust gehabt, obwohl Sie sich in Ruhe befanden?
 - Sind Sie in den letzten 3 Monaten einmal aufgewacht, weil Sie keine Luft mehr bekommen haben?

3.1.2 Untersuchung mit Hinblick auf die Tätigkeit

Die körperliche Untersuchung soll mindestens den unten skizzierten Umfang haben; wenn ein Befund vom Normalbefund abweicht, ist eine Ergänzungsuntersuchung durchzuführen.

Körperliche Untersuchung (Fragen an die Ärztin/den Arzt)

Gibt es einen pathologischen Befund im Bereich Atmung und Lunge? Insbesondere betreffend:

- Atemmuster
- Atemfrequenz
- Inspektion / Perkussion /Auskultation der Lunge

Gibt es einen pathologischen Befund im Bereich Herz/ Kreislauf/ Arterien?

Insbesondere betreffend:

- Füllungszustand der Jugularvenen
- periphere Ödeme
- Herzfrequenz und Herzrhythmus
- Lage des Herzspitzenstoßes
- Auskultation des Herzens
- Strömungsgeräusch über Halsarterien
- Blutdruck (über 200/110 oder unter 100/60 mmHg)

3.2 Spezielle Untersuchung für den Siebtest

Ruhe EKG; bei einem eindeutig pathologischen Befund ist eine Ergänzungsuntersuchung durchzuführen.

Blutbild und mikroskopisch bestimmtes Differentialblutbild.

Bei einem pathologischen Befund des roten Blutbildes ist eine Ergänzungsuntersuchung durchzuführen.

Labor

- Liegt der Hämoglobin-Wert unterhalb oder oberhalb des Referenzbereiches des jeweiligen Labors?
- Ist die Erythrozytenmorphologie pathologisch?

3.3 Ergänzungsuntersuchung

Wenn im Siebtest die Kriterien erfüllt sind (Frage von untersuchter Person mit „Ja“ beantwortet oder pathologischer Befund der ärztlichen Untersuchung oder im Ruhe EKG oder im Blutbildes wie angegeben), ist eine Ergänzungsuntersuchung vorzunehmen. Diese kann von jedem Arzt durchgeführt werden, der über die entsprechende Erfahrung und apparative Ausstattung verfügt.

Minimal muss eine der folgenden Untersuchungen durchgeführt werden, wenn sich durch die unter 3.3 genannte Untersuchung der Verdacht auf eine kardiale, zirkulatorische oder pulmonale Störung ergibt oder eine Anämie vorliegt. Welche der unten genannten Untersuchungen durchgeführt werden müssen, richtet sich nach der vermuteten Erkrankung:

- Belastungs-EKG zur Bestimmung der kardiozirkulatorischen Leistungsfähigkeit, ggf. zur Provokation einer koronaren Ischämie
- Spirometrie zur Bestimmung der Einsekundenkapazität (FEV1)
- Arterielle oder kapilläre Blutgasanalyse zur Errechnung des erwarteten PaO_2 unter der Sauerstoffkonzentration, in der gearbeitet werden soll (Formel siehe **Anhang 2**)
- Wenn der Verdacht auf eine Stenose einer hirnversorgenden Arterie besteht, ist eine Duplex-Untersuchung der hirnversorgenden Arterien durchzuführen.
- Wenn der Verdacht auf eine Sichelzellkrankheit besteht, ist eine Hämoglobinelektrophorese

durchzuführen.

Den Umfang der Untersuchung über das Minimalprogramm hinaus bestimmt der Arzt, der die Ergänzungsuntersuchung durchführt.

3.4 Arbeitsmedizinische Kriterien

3.4.1 dauernde gesundheitliche Bedenken

Personen mit

- 1 koronarer Herzerkrankung, hypertensiver Herzerkrankung oder Klappenvitien, die unter Belastung Zeichen der belastungsinduzierten Ischämie bekommen (z. B. Angina pectoris, Blutdruckabfall, typische EKG Veränderungen);
- 2 chronischer Herzinsuffizienz, die bereits bei alltäglichen und professionellen Belastungen in Normoxie Atemnot bekommen oder Leistungseinschränkungen haben; als weiterer Anhalt kann eine Belastbarkeit von weniger als 75 Watt absolut oder 1,5 Watt pro Kilogramm Körpergewicht dienen;
- 3 Atemwegs- und Lungenerkrankungen, chronischer Herzinsuffizienz oder Anämie, die einen aus FEV1 und PaO₂ errechneten PaO₂ von < 55 mmHg unter Hypoxie haben werden;
- 4 Zeichen der akuten Höhenkrankheit unter früheren Hypoxie-Expositionen (Lake Louise Score inklusive der Frage nach Schlafstörung ≥ 3); diese Personen sollten probeweise exponiert werden. Wenn unter den konkreten Arbeitsbedingungen wiederum eine AHK (Lake Louise Score ohne die Frage nach Schlafstörung ≥ 3 , siehe **Anlage 1**) auftritt, bestehen dauernde gesundheitliche Bedenken.
- 5 Schwindel in den vergangenen 3 Monaten, der Alltagstätigkeiten beeinträchtigt hat;
- 6 hochgradiger (> 70 % ger) Stenose der A carotis communis oder interna;
- 7 Zustand nach Schlaganfall oder dokumentierter transitorisch ischämischer Attacke; diese Personen sollten probeweise exponiert werden. Dauernde gesundheitliche Bedenken bestehen nur, wenn unter konkreten Arbeitsbedingungen Beschwerden wie Schwindel, Einbußen der geistigen Leistungsfähigkeit oder Verwirrtheit (bzw. andere neuropsychiatrische Probleme) auftreten.
- 8 Sichelzellkrankheit; wenn in der Vergangenheit keine Sichelzellkrise aufgetreten ist, kann ein heterozygoter Anlageträger eine Probeexposition machen. Nur wenn dann Zeichen einer Sichelzellkrise oder der Hämolyse auftreten, bestehen dauernde gesundheitliche Bedenken.

3.4.2 befristete gesundheitliche Bedenken

Personen mit unter 3.5.1 genannten Erkrankungen, soweit eine Besserung spontan oder durch adäquate Therapie zu erwarten ist

3.4.3 keine gesundheitlichen Bedenken unter bestimmten Voraussetzungen

Personen mit den unter 3.5.1 genannten Erkrankungen, wenn unmittelbar im Anschluß an eine Probeexposition unter den konkreten Arbeitsbedingungen eine ärztliche Untersuchung durchgeführt wird und keine negative Auswirkungen auf die Gesundheit feststellbar sind.

3.4.4 keine gesundheitlichen Bedenken

alle anderen Personen

4 Nachuntersuchungen

4.1 Nachuntersuchungsfristen

4.1.1 erste Nachuntersuchung

vor Ablauf von 3 Jahren im Bereich 15 - 13 Vol%,
vor Ablauf von 5 Jahren im Bereich >15 - 17 Vol%

4.1.2 weitere Nachuntersuchungen

vor Ablauf von 3 Jahren im Bereich 15 - 13 Vol%,
vor Ablauf von 5 Jahren im Bereich >15 - 17 Vol%

4.1.3 vorzeitige Nachuntersuchungen

im Ermessen des Arztes, wenn dies zur genaueren Einschätzung des Risikos durch die Exposition beiträgt; wenn in der ersten „Ergänzungsuntersuchung“ eine für die Hypoxie-Exposition relevante Gesundheitsstörung festgestellt wird (insbesondere Herz- oder Lungenerkrankung und Anämie), sollte die vorzeitige Nachuntersuchung innerhalb von 3 Monaten stattfinden

4.2 Untersuchungsumfang

Im allgemeinen ist wie bei der Erstuntersuchung „Siebtest“ nur eine Anamnese mit spezieller Berücksichtigung der unter Exposition aufgetretenen Beschwerden und eine orientierende körperliche Untersuchung erforderlich. Weitere Untersuchungen zur Klärung evt. arbeitsplatzbezogener Beschwerden liegen im Ermessen des Arztes. Wenn im Rahmen der Ergänzungsuntersuchung eine Erkrankung festgestellt wurde, die u.U. zu arbeitsmedizinischen Bedenken führen könnte, so ist eine Nachuntersuchung nach den unter 3.4 genannten Kriterien erforderlich.

4.3 Arbeitsmedizinische Kriterien

siehe 3.4

5 Nachgehende Untersuchungen:

entfällt

6 Anhang

Anhang 1

AHK (Akute Höhenkrankheit) - Selbstbeurteilung nach dem Lake Louise Score

Symptom	Punktezahl
Kopfschmerz	0 keiner 1 milder Kopfschmerz 2 mäßiger Kopfschmerz 3 schwerer Kopfschmerz, behindernd
Gastrointestinale Symptome	0 guter Appetit 1 Appetitlosigkeit / Übelkeit 2 mäßig schwere Übelkeit / Erbrechen 3 schwere, behindernde Übelkeit und Erbrechen
Mattigkeit und / oder Schwäche	0 keine 1 milde Mattigkeit / Schwäche 2 mäßig schwere Mattigkeit / Schwäche 3 schwere Mattigkeit / Schwäche
Schwindel	0 kein Schwindel 1 milder Schwindel 2 mäßig schwerer Schwindel 3 schwerer Schwindel, behindernd
(nur bei Schlaf in sauerstoffarmer Atmosphäre):	
Schlafstörungen	0 habe so gut wie immer geschlafen 1 habe nicht so gut wie immer geschlafen 2 oft aufgewacht, schlecht geschlafen 3 konnte gar nicht schlafen

Lake Louise Score: Kopfschmerz und mindestens 1 anderes Symptom müssen vorhanden sein. Konsens ist, daß ab einer Punktezahl von ≥ 3 eine AHK vorliegt. Für die Arbeit in Hypoxie schlagen wir vor, ebenfalls ab einer Punktezahl von ≥ 3 eine AHK anzunehmen, das Symptom Schlafstörung entfällt jedoch.

Anhang 2

Folgende Formel erlaubt die Abschätzung der zu erwartenden Hypoxie in sauerstoffarmer Atmosphäre und wurde getestet in Höhen zwischen 1,520 und 3,050 m bei Patienten mit chronisch-obstruktiver Bronchitis

$$\text{Erwarteter PaO}_2 = 22.8 - 2,74 x + 0.68 y$$

(x = erwartete Höhe in Tausend Fuß*; y = PaO₂ in mm Hg auf Meershöhe)

Sauerstoffkonzentration bei 101,3 kPa barometrischem Druck in Prozent	Entsprechender Sauerstoffpartialdruck , in kPa	Terrestrische Höhe, in der ein entsprechender Sauerstoffpartialdruck besteht, in m
18	18.2	1250
17	17.2	1750
16	16.2	2250
15	15.2	2700
14	14.2	3250
13	13.2	3850
12	12.2	4450

* Umrechnung von Meter in Fuß: m / 0,3048 = Fuß

aus:

Gong H, Tashkin DP, Lee EY, Simmons MS. Hypoxia-altitude simulation test. Evaluation of patients with chronic airway obstruction. Am Rev Respir Dis 1984;130:980-6

Name:

Geburtsdatum

Anamnese und klinische Untersuchung

Hatten Sie in den folgenden Bereichen jemals Beschwerden oder Erkrankungen?

Organ / Störung	Nein	Ja	Wenn ja, bitte genauer beschreiben (Diagnose, seit wann bestehend)
Ungeklärte Allgemeinsymptome: (z.B. Schwindel, Müdigkeit, Nachtschweiß ...)			
Haut: (z.B. Ausschläge, Neurodermitis, auffällige Leberflecke...)			
Kopf: (z.B. Kopfschmerzen, Migräne, Zahnschmerzen...)			
Nase / Rachen: (z.B. Niesen, behinderte Nasenatmung, Heiserkeit ...)			
Augen: (z.B. Entzündungen, Sehschwäche, erhöhter Augeninnendruck...)			
Ohren: (z.B. Entzündungen, Schwerhörigkeit, Hörsturz, Ohrgeräusche...)			
Nieren / Harnwege: (z.B. Entzündungen, Harnverhalt, Koliken...)			
Hormone / Stoffwechsel: (z.B. Diabetes, Gicht, Schilddrüsenerkrankungen, erhöhte Blutfette...)			
Bewegungsapparat: (z.B. Osteoporose, Gelenk- / Rückenschmerzen, Bandscheibenerkrankungen...)			
Blut / Lymphknoten: (z.B. Blutarmut, Eisenmangel, Lymphknotenschwellungen, Gerinnungsstörung...)			

Initialen:

Organ / Störung	Nein	Ja	Wenn ja, bitte genauer beschreiben (Diagnose, seit wann bestehend)
Infektionen: (z.B. Krankheit nach Reisen, Herpes, Grippe...)			
Psyche: (z.B. Konzentrations-/Schlafstörungen, Depression, Essstörungen ...)			
Neurologie: (z.B. Epilepsie, MS, Lähmungen, Gleichgewichtsstörungen ...)			
Unfall: (z.B. Schleudertrauma, Knochenbrüche...)			
Bösartige Erkrankungen: (z.B. Krebs, Leukämie...)			
Abhängigkeiten: (z.B. Nikotin, Alkohol, Medikamente, Drogen...)			
Allergien: (z.B. Heuschnupfen, Nickel, Latex, Hausstaub, Formaldehyd...)			
Sonstige Erkrankungen: (z.B. Erbkrankheiten)			
Verdauungsorgane: (z.B. Magenschmerzen, Leber-, Bauchspeicheldrüsenentzündung, Gallenkoliken, Erbrechen, Durchfall...)			

Spezielle Anamnese	
Haben Sie bei früheren Aufenthalten in der Höhe (Berge) oder bei Flügen Kopfschmerzen, Übelkeit/Erbrechen, Atemnot, Mattigkeit verspürt, so dass Sie sich krank gefühlt haben?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> keine Flüge oder Aufenthalt in den Bergen <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Haben Sie eine Ihnen bekannte Erkrankung des Herzens?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Haben Sie eine Ihnen bekannte Erkrankung der Lunge oder der Atemwege?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Haben Sie eine Ihnen bekannte Bluterkrankung?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Hatten Sie einen Schlaganfall, einen vorübergehenden Schlaganfall (transitorisch ischämische Attacke) oder ist Ihnen bekannt, ob Sie eine Verengung einer Halsschlagader haben?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Sind Sie wegen Herzrhythmusstörungen schon einmal ärztlich behandelt worden?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Haben Sie in den vergangenen 3 Monaten unter Schwindel gelitten, der Sie in Ihren Alltagsaktivitäten gehindert hat?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Sind Sie im vergangenen Jahr einmal bewusstlos geworden?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung

Initialen:

Spezielle Anamnese	
Müssen Sie bei beruflichen oder privaten Tätigkeiten im Alltag pausieren, da Sie bei Anstrengung nicht ausreichend Luft bekommen?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Hat sich Ihre körperliche Leistungsfähigkeit in den vergangenen 3 Monaten merklich verschlechtert?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Haben Sie unter Belastung, körperlicher oder seelischer Art, Schmerzen oder Druckgefühl in der Brust?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Haben Sie im vergangenen Monat einmal Schmerzen in der Brust gehabt, obwohl Sie sich in Ruhe befanden?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung
Sind Sie in den letzten 3 Monaten einmal aufgewacht, weil Sie keine Luft mehr bekommen haben?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung

Hb-Wert:.....

RR:

Ergebnis ärztliche Untersuchung:

Datum:

Name		Gewicht	kg
Vorname		Größe	cm
Geburtsdatum		Geschlecht	männlich <input type="checkbox"/> weiblich <input type="checkbox"/>

Telefon / E-Mail:	
Beruf:	
Haben Sie eine Vorsorgeuntersuchung für Arbeit in sauerstoffreduzierter Atmosphäre gehabt?	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja - wann: Kreuzen Sie bitte an welche Untersuchungen dabei durchgeführt wurden: <input type="checkbox"/> ärztliches Gespräch <input type="checkbox"/> körperliche Untersuchung <input type="checkbox"/> Blutentnahme <input type="checkbox"/> Röntgenaufnahme des Thorax <input type="checkbox"/> Spirometrie (Lungenfunktionsprüfung) <input type="checkbox"/> EKG <input type="checkbox"/> Ergometrie (Belastungs-EKG)
Rauchen Sie:	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> nicht mehr - Jahre geraucht gesamt:..... Anzahl Zig/Tag:..... wann aufgehört:..... <input type="checkbox"/> ja - Anzahl Zig./Tag:.....seit wann:.....

Treiben Sie Sport:	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja - welche Sportart:..... wie oft:..... wie lange:.....
Bitte beurteilen Sie Ihren derzeitigen Fitnesszustand im Vergleich zu Ihrem besten, je erreichten Fitnesszustand:	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mittelmäßig <input type="checkbox"/> eher schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
Nehmen Sie Medikamente:	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja 1. Name:..... Dosis:..... seit wann:..... 2. Name:..... Dosis:..... seit wann:..... 3. Name:..... Dosis:..... seit wann:.....
Leiden Sie an akuten oder chronischen Erkrankungen:	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja 1. Erkrankung:..... seit wann:..... 2. Erkrankung:..... seit wann:..... 3. Erkrankung:..... seit wann:.....
Haben Sie im letzten Jahr bei Aufenthalt in der Höhe (Berge) oder bei Flügen Kopfschmerzen, Übelkeit/Erbrechen, Atemnot, Müdigkeit verspürt, so dass Sie sich krank gefühlt haben?	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> keine Flüge oder Aufenthalt in den Bergen <input type="checkbox"/> Ja, ggf. nähere Erläuterung

Name:

Hb: ;

Ablauf	Zeitpunkt- Min.	Uhrzeit	HF	SpO2	RR syst.	RR diast.	O2-Demand	Grooved Pegboard
vor Betreten des Raumes	10'							
nach Betreten in Ruhe	5'							-----
	10'							-----
	5'							-----
Stepper	10'							-----
	15'							-----
	20'							-----
	5'							-----
in Ruhe nach Stepper	10'							
	5'							-----
nach Verlassen des Raumes	10'							-----
	20'							-----
	30'							-----
	40'							

Ablauf	Zeitpunkt- Min.	Uhrzeit	SpO2	HF	RR syst.	RR diast.	O2- Demand	Grooved Pegboard
nach Betreten in Ruhe	5'							-----
	10'							-----
Stepper	5'							-----
	10'							-----
	15'							-----
	20'							-----
in Ruhe nach Stepper	5'							-----
	10'							
nach Verlassen des Raumes	5'							-----
	10'							-----

Befindlichkeitsbogen

Name:

1.Normale Luft

10 Min in Ruhe- vor Betreten des Raumes

1.1. Wie schätzen Sie Ihr Allgemeinbefinden zum augenblicklichen Zeitpunkt ein?

Sehr schlecht _____ Sehr gut

1.2. Schätzen Sie Ihre körperliche Fitness zum augenblicklichen Zeitpunkt ein.

Sehr schlecht _____ Sehr gut

1.3. Schätzen Sie Ihre körperliche/ muskuläre Müdigkeit zum augenblicklichen Zeitpunkt ein.

Sehr müde _____ gar nicht müde

1.4. Haben Sie **jetzt** folgende Beschwerden? (Bitte kreuzen Sie die zutreffende Antwort an)

Symptom	Punktezahl
1.4.1. Kopfschmerz	0 keiner 1 milder Kopfschmerz 2 mäßiger Kopfschmerz 3 schwerer Kopfschmerz, behindernd
1.4.2.Gastrointestinale Symptome	0 guter Appetit 1 Appetitlosigkeit / Übelkeit 2 mäßig schwere Übelkeit / Erbrechen 3 schwere, behindernde Übelkeit und Erbrechen
1.4.3.Mattigkeit und/oder Schwäche	0 keine 1 milde Mattigkeit / Schwäche 2 mäßig schwere Mattigkeit / Schwäche 3 schwere Mattigkeit / Schwäche

Symptom	Punktezahl
1.4.4. Schwindel	0 kein Schwindel
	1 milder Schwindel
	2 mäßig schwerer Schwindel
	3 schwerer Schwindel, behindernd

2. O2- reduzierte Atmosphäre

5 min sitzen- nach dem Stufentest

2.1. Wie schätzen Sie Ihr Allgemeinbefinden zum augenblicklichen Zeitpunkt ein?

Sehr schlecht _____ Sehr gut

2.2. Schätzen Sie Ihre körperliche/ muskuläre Müdigkeit zum augenblicklichen Zeitpunkt ein.

Sehr müde _____ gar nicht müde

2.3. Schätzen Sie auf der folgenden Skala Ihr **Anstrengungsempfinden** während des Stufentestes (bitte entsprechende Zahl ankreuzen).

- 6
- 7 Sehr, sehr leicht
- 8
- 9 Sehr leicht
- 10
- 11 Recht leicht
- 12
- 13 Etwas anstrengender
- 14
- 15 Anstrengend
- 16
- 17 Sehr anstrengend
- 18
- 19 Sehr, sehr anstrengend
- 20

2.4. Schätzen Sie auf der folgenden Skala Ihr **Atemnot-Empfinden** während des Stufentestes (bitte entsprechende Zahl ankreuzen).

- 6
- 7 Sehr, sehr gering
- 8
- 9 Sehr gering
- 10
- 11 Gering
- 12
- 13 Ziemlich stark
- 14
- 15 Stark
- 16
- 17 Sehr stark
- 18
- 19 Sehr, sehr stark
- 20 Zu stark, geht nicht mehr

2.5. Haben Sie das Sauerstoffgerät getragen?

- ☐ nein
- ☐ ja

2.6. Wie schwer ist Ihnen das Auf- und Absteigen beim Stufentest gefallen?

Sehr schwer _____ Sehr leicht

2.7. Haben Sie **jetzt** folgende Beschwerden? (Bitte kreuzen Sie die zutreffende Antwort an)

Symptom	Punktezahl
2.7.1. Kopfschmerz	0 keiner 1 milder Kopfschmerz 2 mäßiger Kopfschmerz 3 schwerer Kopfschmerz, behindernd
2.7.2. Gastrointestinale Symptome	0 guter Appetit 1 Appetitlosigkeit / Übelkeit 2 mäßig schwere Übelkeit / Erbrechen 3 schwere, behindernde Übelkeit und Erbrechen
2.7.3. Mattigkeit und/oder Schwäche	0 keine 1 milde Mattigkeit / Schwäche 2 mäßig schwere Mattigkeit / Schwäche 3 schwere Mattigkeit / Schwäche
2.7.4. Schwindel	0 kein Schwindel 1 milder Schwindel 2 mäßig schwerer Schwindel 3 schwerer Schwindel, behindernd

2.8. Haben Sie irgendwelche sonstige körperliche Beschwerden?

- ☐ nein
☐ ja; welche:
.....
.....

3. Normaler Luft

Nach der 40-minütigen Ruhepause

3.1. Wie schätzen Sie Ihr Allgemeinbefinden zum augenblicklichen Zeitpunkt ein?

Sehr schlecht _____ Sehr gut

3.2. Schätzen Sie Ihre körperliche Fitness zum augenblicklichen Zeitpunkt ein.

Sehr schlecht _____ Sehr gut

3.3. Schätzen Sie Ihre körperliche/ muskuläre Müdigkeit zum augenblicklichen Zeitpunkt ein.

Sehr müde _____ gar nicht müde

3.4. Haben Sie **jetzt** folgende Beschwerden? (Bitte kreuzen Sie die zutreffende Antwort an)

Symptom	Punktezahl
3.4.1. Kopfschmerz	0 keiner 1 milder Kopfschmerz 2 mäßiger Kopfschmerz 3 schwerer Kopfschmerz, behindernd
3.4.2. Gastrointestinale Symptome	0 guter Appetit 1 Appetitlosigkeit / Übelkeit 2 mäßig schwere Übelkeit / Erbrechen 3 schwere, behindernde Übelkeit und Erbrechen
3.4.3. Mattigkeit und/oder Schwäche	0 keine 1 milde Mattigkeit / Schwäche 2 mäßig schwere Mattigkeit / Schwäche 3 schwere Mattigkeit / Schwäche
3.4.4. Schwindel	0 kein Schwindel 1 milder Schwindel 2 mäßig schwerer Schwindel 3 schwerer Schwindel, behindernd

4. O2- reduzierte Atmosphäre-
5 min sitzen- nach dem Stufentest

4.1. Wie schätzen Sie Ihr Allgemeinbefinden zum augenblicklichen Zeitpunkt ein?

Sehr schlecht _____ Sehr gut

4.2. Schätzen Sie Ihre körperliche/ muskuläre Müdigkeit zum augenblicklichen Zeitpunkt ein.

Sehr müde _____ gar nicht müde

4.3. Schätzen Sie auf der folgenden Skala Ihr **Anstrengungsempfinden** während des Stufentestes (bitte entsprechende Zahl ankreuzen).

- 6
- 7 Sehr, sehr leicht
- 8
- 9 Sehr leicht
- 10
- 11 Recht leicht
- 12
- 13 Etwas anstrengender
- 14
- 15 Anstrengend
- 16
- 17 Sehr anstrengend
- 18
- 19 Sehr, sehr anstrengend
- 20

4.4. Schätzen Sie auf der folgenden Skala Ihr **Atemnot-Empfinden** während des Stufentestes (bitte entsprechende Zahl ankreuzen).

- 6
- 7 Sehr, sehr gering
- 8
- 9 Sehr gering
- 10
- 11 Gering
- 12
- 13 Ziemlich stark
- 14
- 15 Stark
- 16
- 17 Sehr stark
- 18
- 19 Sehr, sehr stark
- 20 Zu stark, geht nicht mehr

4.5. Haben Sie das Sauerstoffgerät getragen?

- ☐ nein
- ☐ ja

4.6. Wie schwer ist Ihnen das Auf- und Absteigen beim Stufentest gefallen?

Sehr schwer _____ Sehr leicht

4.7. Haben Sie **jetzt** folgende Beschwerden? (Bitte kreuzen Sie die zutreffende Antwort an)

Symptom	Punktezahl
4.7.1. Kopfschmerz	0 keiner 1 milder Kopfschmerz 2 mäßiger Kopfschmerz 3 schwerer Kopfschmerz, behindernd
4.7.2. Gastrointestinale Symptome	0 guter Appetit 1 Appetitlosigkeit / Übelkeit 2 mäßig schwere Übelkeit / Erbrechen 3 schwere, behindernde Übelkeit und Erbrechen
4.7.3. Mattigkeit und/oder Schwäche	0 keine 1 milde Mattigkeit / Schwäche 2 mäßig schwere Mattigkeit / Schwäche 3 schwere Mattigkeit / Schwäche
4.7.4. Schwindel	0 kein Schwindel 1 milder Schwindel 2 mäßig schwerer Schwindel 3 schwerer Schwindel, behindernd

4.8. Haben Sie irgendwelche sonstige körperlichen Beschwerden?

- ☐ nein
- ☐ ja; welche:
-
-

5. nach Versuchsende

5.1. In welcher Situation war der Stufentest für Sie leichter/ angenehmer?

- ☐ mit Flasche
- ☐ ohne Flasche

5.2. Wie beurteilen Sie den Tragekomfort der Sauerstoffgeräte?

- ☐ sehr schlecht
- ☐ eher schlecht
- ☐ mittelmäßig
- ☐ eher gut
- ☐ sehr gut